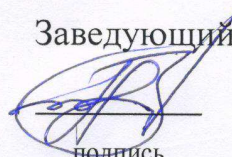


Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский федеральный университет»
Саяно – Шушенский филиал

Кафедра «Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических
систем и электрических сетей»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой



подпись

В.И. Татарников

инициалы, фамилия

« ____ » _____ 2017 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации

Студенту Гераськину Никите Александровичу.

Группа ГЭ15-01М. Направление 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника.

Тема выпускной квалификационной работы «Разработка и описание алгоритмов мониторинга и оперативного оповещения о тепловом состоянии трансформаторов и работе охладителей».

Утверждена приказом по университету № 47 от 31 марта 2017 г.

Руководитель ВКР А.Е. Беззубенко, ведущий инженер по наладке и испытаниям Филиала ПАО «РусГидро» — «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С.Непорожнего».

Исходные данные для ВКР технические документы трансформаторного оборудования СШГЭС, применяемая методика теплоконтроля трансформаторов СШГЭС.

Перечень разделов ВКР 1) Общие сведения о применяемых системах охлаждения силовых трансформаторов; 2) Исследование структуры и принципа работы системы охлаждения; 3) Разработка и описание алгоритмов оперативного мониторинга и раннего оповещения.

Руководитель ВКР

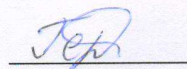


подпись

А.Е. Беззубенко

инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению



подпись

Н.А. Гераськин

инициалы, фамилия

«20» 06. 2017 г.

Список публикаций

1. Гераськин Н.А. Преимущества тепловизионного контроля для выявления неисправностей в основном и вспомогательном оборудовании гЭС. Испытание стали статора гидрогенератора // Гидроэлектростанции в XXI веке : сборник материалов III Всероссийской науч.-практич. конф. / под. ред. В.Б. Затеева, В.В. Саяногорск; Черемушки: Сибирский федераль--Татарникова. ный университет; Саяно-Шушенский филиал, 2016. – с .358-361.
2. Гераськин Н.А. Разработка и описание алгоритмов мониторинга и оперативного оповещения о тепловом состоянии трансформаторов и работе охладителей // Гидроэлектростанции в XXI веке : сборник материалов IV Все- –российской науч.-практич. конф. / под. ред. В.В. Татарникова. Саяногорск; Черемушки: Сибирский федеральный университет; Саяно-Шушенский филиал, 2017. – с.322-328.
3. Гераськин Н.А. Разработка и описание алгоритмов мониторинга и оперативного оповещения о тепловом состоянии трансформаторов и работе охладителей // Современная техника и технологии. 2017. № 5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://technology.snauka.ru/2017/05/13390> (дата обращения: 28.05.2017).



/Гераськин Н.А./

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Саяно-Шушенский филиал

ОТЗЫВ

руководителя А.Е.Беззубенко, ведущий инженер по наладке и испытаниям
участка мониторинга оборудования, Службы мониторинга оборудования
Филиала ПАО "РусГидро" - "Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного"

(Ф.И.О., уч.степень, должность, место работы)

Разработка и описание алгоритмов мониторинга и оперативного оповещения о
тепловом состоянии трансформаторов и работе охладителей

Гераськина Никиты Александровича

(Ф.И.О.)

Магистерская работа Гераськина Н.А., выполнена в полном объеме в соответствии с выданным заданием. Проект представлен на 55 листах пояснительной записки из которых 1 лист приложений. Подробно разработаны все части проекта.

Магистерская диссертация оформлена в соответствии со стандартом, пояснительная записка изложена четко и последовательно.

Следует отметить инженерный подход дипломника к выбору технических решений в проектных разработках. Все принятые решения соответствуют техническим требованиям, действующим в настоящее время.

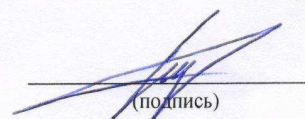
За время обучения в магистратуре Гераськина Н.А. было опубликовано две научные статьи по теме магистерской диссертации, на двух Всероссийских научно-практических конференциях молодых ученых, специалистов, аспирантов и студентов «Гидроэлектростанции в XXI веке», Саяногорск.

Также одна из этих статей была опубликована в электронном научно-практическом журнале «Современная техника и технологии», Москва.

Основным замечанием к данной работе является то, что уделено слишком много внимания теоретическому описанию систем охлаждения трансформаторов, но алгоритмы для них не разработаны.

Выпускная квалификационная работа на тему «Разработка и описание алгоритмов мониторинга и оперативного оповещения о тепловом состоянии трансформаторов и работе охладителей» отражает уровень профессиональной подготовки выпускника, соответствующий требованиям Федерального государственного стандарта, заслуживает оценки «хорошо», а магистрант Гераськин Н.А. присвоения звания «магистр-инженер».

Дата 20.06.2017.



(подпись)

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Саяно-Шушенский филиал

Рецензия

рецензента Иванова Н.А., инженер по наладке и испытаниям Службы мониторинга оборудования Филиала ПАО «РусГидро» — «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного».

(Ф.И.О., уч. степень, должность, место работы)

Разработка и описание алгоритмов мониторинга и оперативного оповещения о тепловом состоянии трансформаторов и работе охладителей

Гераськина Никиты Александровича

(Ф.И.О.)

Данная диссертация является актуальной для Саяно-Шушенской гидроэлектростанции. Работа по содержанию разделов, глубине их проработки и расчетному материалу соответствует требованиям к магистерской диссертации.

Работа имеет четкую и понятную структуру. В теоретической части подробно рассмотрены применяемые на сегодняшний день системы охлаждения трансформаторного оборудования, проанализирована система охлаждения трансформаторов ОРЦ 533000/500 –У1, разработаны и описаны алгоритмы раннего оповещения о наличии дефектов. Все это позволяет сделать вывод, что магистрантом был произведен сбор и обработка материала по данной теме.

Основное достоинство данной работы в том, что были модернизированы принципы мониторинга за тепловым состоянием трансформаторов и раннего

оповещения, которые позволяют избежать или уменьшить время работы оборудования в аварийном режиме.

Основным замечанием к работе является то, что было уделено слишком много внимания описанию системам охлаждения трансформаторов.

Научная работа Никиты Александровича выполнена аккуратно, написана технически грамотным, научным языком, изложение диссертации исчерпывающее, четкое и последовательное.

Несмотря на имеющиеся замечания, выпускная квалификационная работа заслуживает оценки «хорошо», а магистрант Гераськин Н.А. присвоения квалификации «магистр-инженер» по специальности «Электроэнергетика и электротехника».

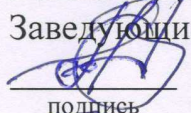
Дата 20.06.2017.



(подпись)

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский федеральный университет»
Саяно – Шушенский филиал

Кафедра «Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических
систем и электрических сетей»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

В.В. Татарников
подпись инициалы, фамилия
« 22 » 06 2017 г.

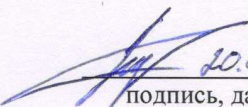
МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**РАЗРАБОТКА И ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМОВ МОНИТОРИНГА И
ОПЕРАТИВНОГО ОПОВЕЩЕНИЯ О ТЕПЛОМ СОСТОЯНИИ
ТРАНСФОРМАТОРОВ И РАБОТЕ ОХЛАДИТЕЛЕЙ**

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 Гидроэлектростанции

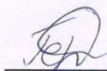
Научный
руководитель


подпись, дата 20.06.17

Ведущий инженер по наладке
и испытаниям Филиала ПАО
«РусГидро» — «Саяно-
Шушенская ГЭС
имени П.С. Непорожного»
должность, учёная степень


А.Е. Безрубенко
инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата 20.06.17

Н.А. Гераськин
инициалы, фамилия


Рецензент


подпись, дата 20.06.17

инженер Службы мониторинга
оборудования Филиала ПАО
«РусГидро» — «Саяно-
Шушенская ГЭС
имени П.С. Непорожного»
должность, учёная степень

Н.А. Иванов
инициалы, фамилия

Нормоконтролёр


подпись, дата 21.06.17

А.А. Чабанова
инициалы, фамилия

Саяногорск; Черёмушки 2017

АННОТАЦИЯ

к магистерской диссертации Гераськина Никиты Александровича, студента 2 курса магистратуры Саяно-Шушенского филиала Сибирского федерального университета на тему «Разработка и описание алгоритмов мониторинга и оперативного оповещения о тепловом состоянии трансформаторов и работе охладителей».

В процессе выполнения работы были рассмотрены причины возникновения нагрева трансформаторов. Проведено исследование устройства и методов действия различных систем охлаждения трансформаторного оборудования, для возможности адаптации к ним разработанных алгоритмов оперативного контроля и раннего оповещения.

Также автором было проведено исследование устройства и метода действия системы охлаждения трансформаторов СШГЭС ОРЦ 53300/500-У1, чтобы на их примере разработать данные алгоритмы.

В работе подробно описан состав алгоритмов оперативного контроля и раннего оповещения и их действие. Применение данных разработок можно применять на всех трансформаторах с системой охлаждения Ц (с корректировкой, затрагивающей технические параметры оборудования, условия эксплуатации и требования нормативных документов организации).

Исходя из исследования других охлаждающих систем, можно сделать вывод, что данные алгоритмы можно использовать как основу для разработки алгоритмов для различных систем охлаждения, так как основная причина возникновения нагрева во всех трансформаторах – это активные потери мощности при работе. Есть возможность использования алгоритмических цепочек для анализа изменения контролируемого параметра (физического свойства). Возможно использование предложенной методики анализа показаний датчиков и следующего за ним раннего оповещения.

Применение разработанных алгоритмов значительно снизит время работы трансформаторов в режиме перегрева. В свою очередь это уменьшит

количество выводов в ремонт оборудования, увеличит его срок службы и повысит устойчивость энергосистемы в целом.

Реализация предложенного метода не требует значительных капитальных вложений, так как информация для обработки берётся с датчиков, уже имеющихся на трансформаторе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СИСТЕМА МОНИТОРИНГА, ГЭС, ТРАНСФОРМАТОР, АЛГОРИТМ, СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ, ОПЕРАТИВНОЕ ОПОВЕЩЕНИЕ, ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ.

АВТОРЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа в форме магистерской диссертации по теме «Разработка и описание алгоритмов мониторинга и оперативного оповещения о тепловом состоянии трансформаторов и работе охладителей» содержит 52 страницы основного текста, 17 рисунков, 2 таблицы, список использованных источников из 32 наименований.

Проблема: на сегодняшний день в энергетике в основном используются системы защиты основного и вспомогательного оборудования, которые срабатывают при достижении контролируемого параметра аварийного или предупредительного значения. Недостатком такого метода является повышенный износ оборудования.

Актуальность: состоит в уменьшении времени работы ТО (трансформаторное оборудование) в режиме перегрева, повышении срока службы трансформаторного оборудования и уменьшении количества выводов в ремонт.

Объект исследования: Филиал ПАО «РусГидро» — «Саяно-Шушенская ГЭС имени П. С. Непорожного».

Предмет исследования: система охлаждения Ц на примере трансформатора ОРЦ-533000/500-У1.

Цель работы: разработка алгоритмов оперативного контроля и раннего предупреждения о тепловом состоянии ТО.

Задачи:

1. Анализ применяемых современных систем охлаждения силовых трансформаторов;
2. Исследование принципа работы системы охлаждения трансформаторов ОРЦ-533000/500-У1;
3. Исследование контрольно-измерительной аппаратуры для проведения теплового мониторинга трансформаторов ОРЦ-533000/500-У1;

4. Разработка алгоритмов оперативного мониторинга за тепловым состоянием трансформаторов и работоспособности охладителей на примере трансформаторов ОРЦ-533000/500.

Методы исследования: анализ, классификация, системный подход, структурно-функциональный метод, формализация, сравнение, моделирование.

Научная новизна:

- заключается в разработке и предложении алгоритмов для оперативного мониторинга за тепловым состоянием ТО и раннего оповещения.

Практическая ценность.

Использование этого способа позволит:

- повысить эффективность управления и исключить работу оборудования в неблагоприятных режимах (перегрев, повышенная вибрация и т.п.);
- выявить дефекты оборудования на ранних стадиях и предотвратить их развитие в критические дефекты, приводящие к невосстанавливаемым повреждениям оборудования;
- уменьшить число аварийных отключений, что поможет уменьшить недоотпуск электроэнергии;
- повысить устойчивость энергосистемы.

Публикации: по результатам работы имеется 3 публикации.

Структура работы: работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка сокращений, списка использованных источников.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация	2
Введение.....	8
1 Общие сведения о применяемых системах охлаждения силовых трансформаторов	10
1.1 Силовой трансформатор	10
1.2.1 Система естественного масляного охлаждения М	11
1.2.2 Система масляного охлаждения с дутьем и естественной циркуляцией масла Д.....	14
1.2.3 Система масляного охлаждения с дутьем и принудительной циркуляцией масла через воздушные охладители ДЦ.....	16
1.2.4 Система масляно-водяного охлаждения трансформаторов с принудительной циркуляцией масла Ц.....	19
2 Исследование структуры и принципа работы системы охлаждения трансформаторов ОРЦ-533000/500-У1	27
2.1 Технические характеристики трансформаторов ОРЦ-533000/500-У1	27
2.2 Система охлаждения трансформаторов ОРЦ-533000/500-У1	30
2.3 Описание датчиков.....	35
2.3.1 ТСПУ 0104	35
2.3.2 ИТ-1Ц	36
3 Разработка и описание алгоритмов оперативного мониторинга и раннего оповещения	38
3.1 применяемый принцип действия системы охлаждения на трансформаторах СШГЭС.....	40
3.2 Разработка и описание алгоритма оперативного мониторинга за рабочим состоянием маслоохладителей	41

3.3 Разработка и описание алгоритма оперативного мониторинга за состоянием температуры обмотки трансформатора.....	44
3.4 Алгоритм слежения за состоянием давления воды и масла в каждом маслоохладителе.....	47
Заключение	49
Список использованных источников	52
Приложение А	55

ВВЕДЕНИЕ

Цели работы: Разработка и рассмотрение возможности применения алгоритмов оперативного мониторинга за тепловым состоянием трансформаторного масла и обмотки трансформаторов, контроля за работой охладителей трансформаторов на примере ОРЦ-533000/500-У1 для Филиала ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС им. П.С.Непорожнего».

Для достижения данных целей сформулированы следующие **задачи**:

1. Анализ применяемых современных систем охлаждения силовых трансформаторов;
2. Исследование принципа работы системы охлаждения трансформаторов ОРЦ-533000/500-У1;
3. Исследование аппаратуры и датчиков, применяемых для проведения измерений и мониторинга трансформаторов ОРЦ-533000/500-У1;
4. Разработка алгоритмов оперативного мониторинга за тепловым состоянием трансформаторов и работоспособности охладителей на примере трансформаторов ОРЦ-533000/500.

Практическая ценность.

В связи с увеличением потребления электрической мощности в России и повышением автоматизации отрасли требуется разработка и внедрение автоматизированных систем мониторинга и технической диагностики основного и вспомогательного оборудования электроустановок для увеличения надежности и долговечности эксплуатации основного оборудования электростанций.

На сегодняшний день в энергетике в основном используются системы защиты основного и вспомогательного оборудования, которые срабатывают при достижении контролируемого параметра аварийного или предупредительного значения. Такой подход называется сухой контакт. Недостатком такого метода является повышенный износ оборудования. Для того, чтобы повысить срок службы оборудования и уменьшить количество

выводов в ремонт можно применить метод оперативного контроля за состоянием оборудования. Использование этого способа позволит:

- повысить эффективность управления и исключить работу оборудования в неблагоприятных режимах (перегрев, повышенная вибрация и т.п.);
- выявить дефекты оборудования на ранних стадиях и предотвратить их развитие в критические дефекты, приводящие к невозможности восстановления оборудования;
- уменьшить число аварийных отключений, что поможет уменьшить недоотпуск электроэнергии;
- повысить устойчивость энергосистемы.

Ввод системы оперативного мониторинга не заменяет традиционные методы защиты основного и вспомогательного оборудования, а дополняет их, в значительной мере повышая их надёжность. Все данные, снимаемые с датчиков, оцифровываются и хранятся в базе данных.

1 Общие сведения о применяемых системах охлаждения силовых трансформаторов

1.1 Силовой трансформатор

Силовой трансформатор – это стационарное электротехническое устройство, имеющее две или более обмотки, назначением которого является преобразование системы переменного напряжения и тока одной величины в другую. При этом частота остаётся неизменной для сохранения передаваемой мощности.

Трансформаторы различаются по ряду признаков:

- в зависимости от количества фаз: однофазные и трехфазные;
- по количеству обмоток: двухобмоточные и трехобмоточные;
- в зависимости от места их установки: наружной и внутренней установки;
- по назначению: понижающие и повышающие;

Кроме того, силовые трансформаторы различают по группам соединения обмоток, по способу охлаждения. Также при установке трансформаторов учитывают климатические условия.

1.2 Системы охлаждения силовых трансформаторов

На сегодняшний день в современной энергетике имеются различные системы охлаждения трансформаторного оборудования. Их выбор зависит от многих критериев. Система охлаждения трансформатора является важной составляющей, необходимой для стабильной работы трансформатора. Рассмотрим принцип действия и устройство основных систем охлаждения.

1.2.1 Система естественного масляного охлаждения М

Система охлаждения М (ONAN – Oil Norm Air Norm) представляет собой естественную циркуляцию воздуха и масла. Используется для трансформаторов небольшой мощности и напряжением, как правило, до 16 МВ*А. Трансформаторные баки исполняются гладкими с применением охлаждающих труб или навесных трубчатых охладителей (радиаторы). Радиатор является отдельным узлом, патрубки которого присоединяют к патрубкам бака. Устройство и принцип действия данной системы охлаждения приведён ниже. Между фланцами патрубков встроены плоские краны, перекрывающие доступ масла в радиатор. Движение различных по температуре слоёв масла происходит из-за разницы в давлении. Под действием гравитационных сил холодное масло, имеющее большую плотность, вытесняет вверх нагретое масло, у которого плотность меньше. Под действием конвекционного потока воздуха у поверхности бака и радиаторов, а также излучения, тепло передаётся в окружающую среду.

При условиях нормальной работы трансформатора согласно Правилам технической эксплуатации (ПТЭ) температура масла в верхних слоях не должна быть выше $+95^{\circ}\text{C}$.

Схема способа охлаждения трансформаторов и диаграммы, показывающие теплофизический процесс в трансформаторе, представлены на Рисунке 1. График показывает изменение температуры θ в зависимости от высоты Н. Охлаждённое масло из радиатора поступает в обмотку (точка А). Из-за нагрева его плотность уменьшается, и нагретое масло вытесняется вверх. В точке В масло выходит из обмотки. Во время прохода участка ВС температура масла немного падает. Это происходит из-за явления теплоотдачи крышки и верхней части стенки бака. Между точками С и D (в радиаторе) масло охлаждается и перемещается вниз. Кривая (θ_a) описывает изменение температуры охлаждающего радиатор воздуха.

Охлажденное масло перемещается из точки D в точку A, и процесс повторяется. $\Delta\theta_{oa}$ — среднелогарифмическая разность температур масла и воздуха, определяющая теплопередачу между ними.

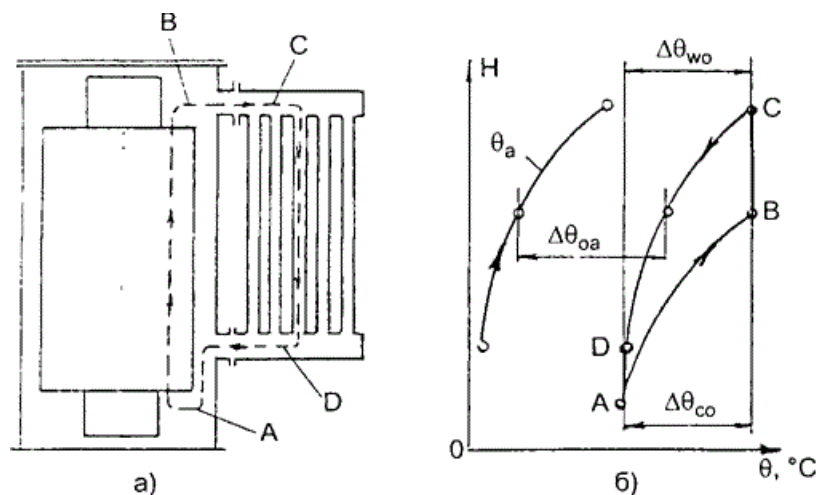


Рисунок 1 - Принципиальная схема естественного масляного охлаждения трансформатора

Поддерживающая циркуляцию подъемная сила пропорциональна площади, охваченной контуром ABCDA.

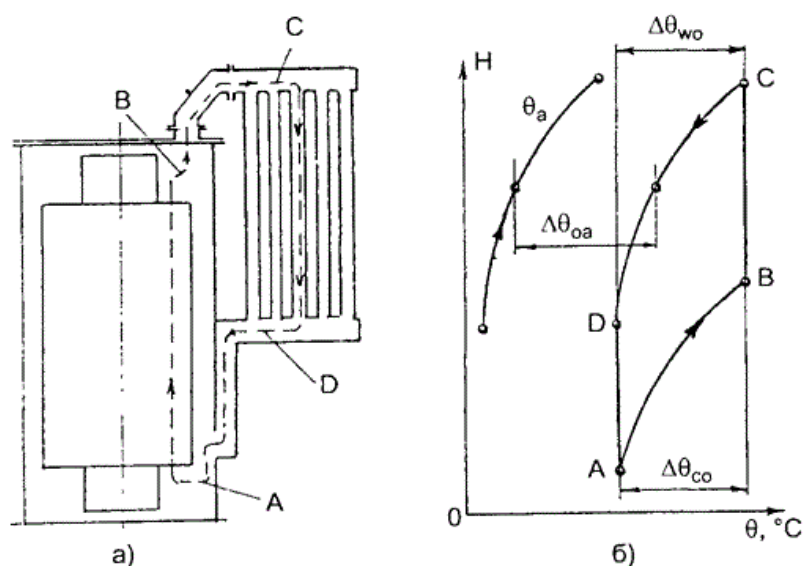


Рисунок 2 - Принципиальная схема естественного масляного охлаждения трансформатора при высоко поднятых радиаторах

На Рисунке 2 показана принципиальная схема и диаграмма системы охлаждения М при высоком расположении радиатора. Как видно из диаграммы, такое расположение при одинаковых потерях увеличивает подъемную силу, а значит и скорость движения масла.

В настоящее время для отвода тепла при работе трансформатора с естественной циркуляцией масла в наиболее часто применяют такие виды радиаторов, как: трубчатый и пластинчатый радиаторы.

Радиаторы состоят из большого числа (от 6 до 160 и более) вертикальных труб, образующих параллельные пути для циркулирующего в них масла.

В трансформаторах мощностью более 40 кВА (I—III габаритов) применяют навесные радиаторы с трубами овальной формы. Их крепят болтами к патрубкам бака, уплотняя резиновыми прокладками. Основные конструктивные составляющие таких радиаторов показаны на Рисунке 3.

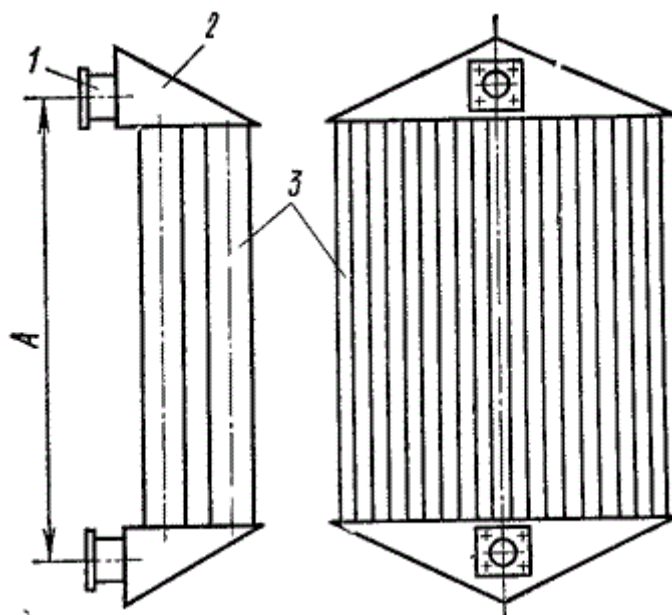


Рисунок 3 – Прямотрубный двухрядный радиатор:

1 — патрубок с фланцем, 2 — коробка (коллектор), 3 — овальная труба;
А — расстояние между центрами патрубков (основной монтажный размер радиатора)

Пластинчатые радиаторы состоят из двух трубчатых коллекторов, между которыми помещаются пластинчатые элементы с каналами для масла с внутренними размерами от 5 до 10 мм. Пластинчатые элементы устанавливаются параллельно друг другу на расстоянии 45 мм. Радиаторы могут укомплектовываться элементами одинаковой, либо различной длины, что обеспечивает скос радиатора. Защита от коррозии создается за счет гальванизации элементов и покрытием внешней их поверхности алкидными смолами, внутренней — лаком. Эскиз пластинчатого радиатора показан на Рисунке 4.

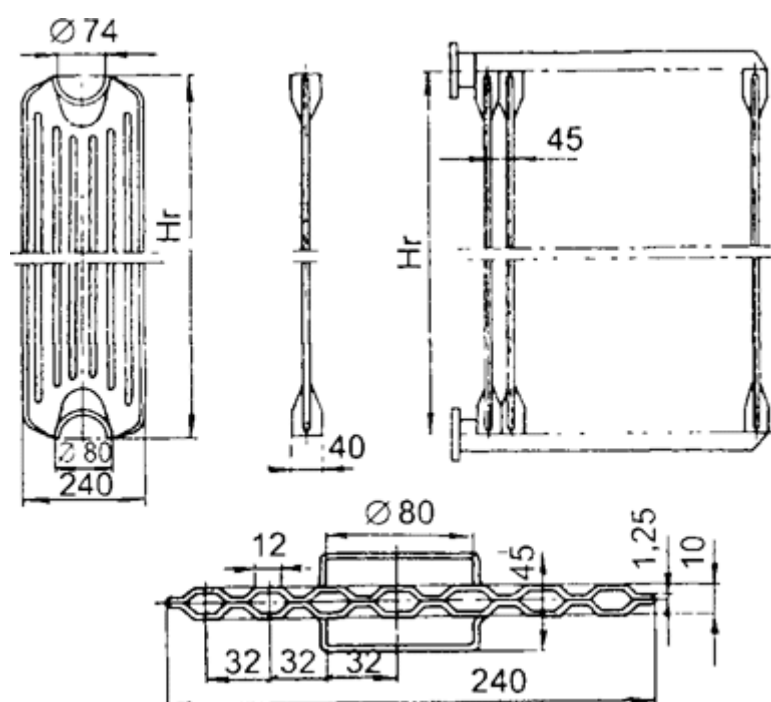


Рисунок 4 – Эскиз пластинчатого радиатора

1.2.2 Система масляного охлаждения с дутьем и естественной циркуляцией масла Д

В трансформаторах мощностью более 6,3—10 МВ-А затруднительно развить теплоотдающую поверхность бака в такой мере, чтобы обеспечить заданный уровень нагрева. Это объясняется тем, что при постоянстве электромагнитных нагрузок (индукции в магнитопроводе, и плотности тока в обмотках) потери растут пропорционально кубу линейных размеров, тогда как

охлаждающие поверхности растут пропорционально квадрату этих размеров. Поэтому приходится принимать дополнительные меры для усиления охлаждения путем обдува радиаторов вентиляторами.

Масляное охлаждение с дутьём и естественной циркуляцией масла применяется для более мощных трансформаторов (до 80 МВА). В этом случае в навесных охладителях из радиаторных труб помещаются вентиляторы. Вентилятор засасывает воздух снизу, и обдувает нагретую верхнюю часть труб. Пуск и останов вентиляторов могут осуществлять автоматически в зависимости от нагрузки и температуры нагрева масла. Трансформаторы с таким охлаждением могут работать при полностью отключенном дутье, если нагрузка не превышает 100% номинальной, а температура верхних слоёв масла не более $+55^{\circ}\text{C}$, а также при минусовых температурах окружающего воздуха и при температуре масла не выше $+45^{\circ}\text{C}$ независимо от нагрузки. Максимально допустимая температура масла в верхних слоях при работе с номинальной нагрузкой $+95^{\circ}\text{C}$.

Форсированный обдув радиаторных труб улучшает условия охлаждения масла, а следовательно, обмоток и магнитопровода трансформатора

Эта система охлаждения трансформаторов основана на применении радиаторов, обдуваемых вентиляторами. Принципиальная схема и диаграмма системы Д приведена на Рисунке 5. Вентиляторы создают принудительное движение воздуха со скоростью, значительно большей, чем при естественной циркуляции. Увеличение скорости движения воздуха увеличивает коэффициент теплоотдачи радиатора, поэтому отвод тех же потерь будет происходить при меньшей логарифмической разности температур. При одинаковом значении этой разности теплосъем радиатора увеличивается в 2,6 раза.

Принцип действия системы масляного охлаждения с дутьем и естественной циркуляцией масла аналогичен принципу действия системы естественного масляного охлаждения М.

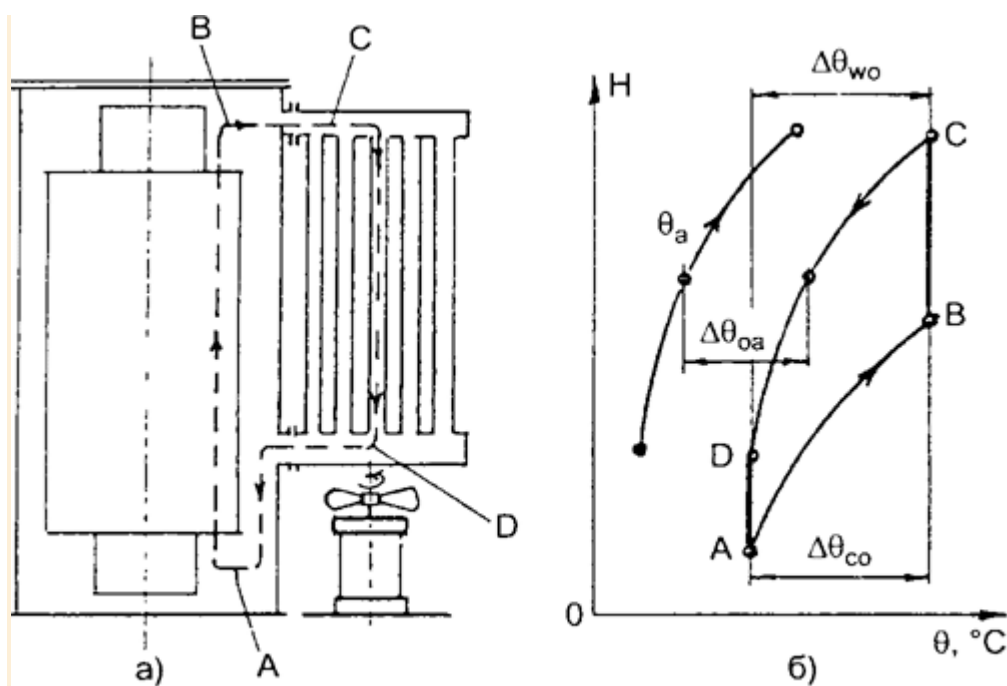


Рисунок 5 – Принципиальная схема и диаграмма системы Д

1.2.3 Система масляного охлаждения с дутьем и принудительной циркуляцией масла через воздушные охладители ДЦ

Проведём описание системы масляного охлаждения с дутьем и принудительной циркуляцией масла через воздушные охладители ДЦ, с ссылкой на библиографические источники.

Система охлаждения ДЦ (масляное охлаждение с дутьем и принудительной циркуляцией масла через воздушные охладители) применяется для охлаждения трансформаторов наружной установки мощностью 63 МВА и более напряжением 110 кВ и выше. Эта система основана на применении масляно-воздушных охладителей с принудительной циркуляцией масла и форсированным обдувом ребристых труб охладителей воздухом. Охладители состоят из тонких ребристых трубок, обдуваемых снаружи вентилятором, и комплектуются бессальниковыми центробежными насосами и тихоходными вентиляторами. Электронасосы, встроенные в маслопроводы, создают непрерывную принудительную циркуляцию масла через охладители. Благодаря высокой скорости циркуляции масла, большой поверхности охлаждения и интенсивному дутью охладители обладают большой теплоотдачей и

компактностью. Такая система охлаждения позволяет значительно уменьшить габаритные размеры трансформаторов. Охладители могут устанавливаться вместе с трансформатором на одном фундаменте или на отдельных фундаментах рядом с баком трансформатора. С целью повышения эффективности теплообмена у крупных трансформаторов масло подается по специальным трубам к определенным частям обмоток, в результате чего создается направленная циркуляция масла по охлаждающим каналам. Для охлаждающих устройств с направленной циркуляцией масла через обмотки трансформаторов применяются насосы с экранированным статором типа ЭЦТЭ. Управление охлаждением автоматическое и ручное. Схема автоматического управления обеспечивает включение основной группы охладителей при включении трансформаторов в сеть, увеличение интенсивности охлаждения включением дополнительного охладителя при достижении номинальной нагрузки или заданной температуры масла в трансформаторе, включение резервного охладителя при аварийном отключении любого работающего, отключение вентиляторов обдува без остановки циркуляционных насосов. Шкафы управления охлаждением оборудованы постоянно включенной сигнализацией о прекращении циркуляции масла, остановке вентиляторов дутья, включении резервного охладителя, переключении питания двигателей системы охлаждения от резервного источника при исчезновении напряжения или его понижении в сети.

При этом внутри обмотки практически сохраняется естественная циркуляция масла, а скорость движения масла в обмотке определяется гравитационной подъемной силой и гидравлическим сопротивлением трению. Включение насоса влияет главным образом на работу охладителя. Для лучшего понимания вопроса обратимся к Рисунку 6.

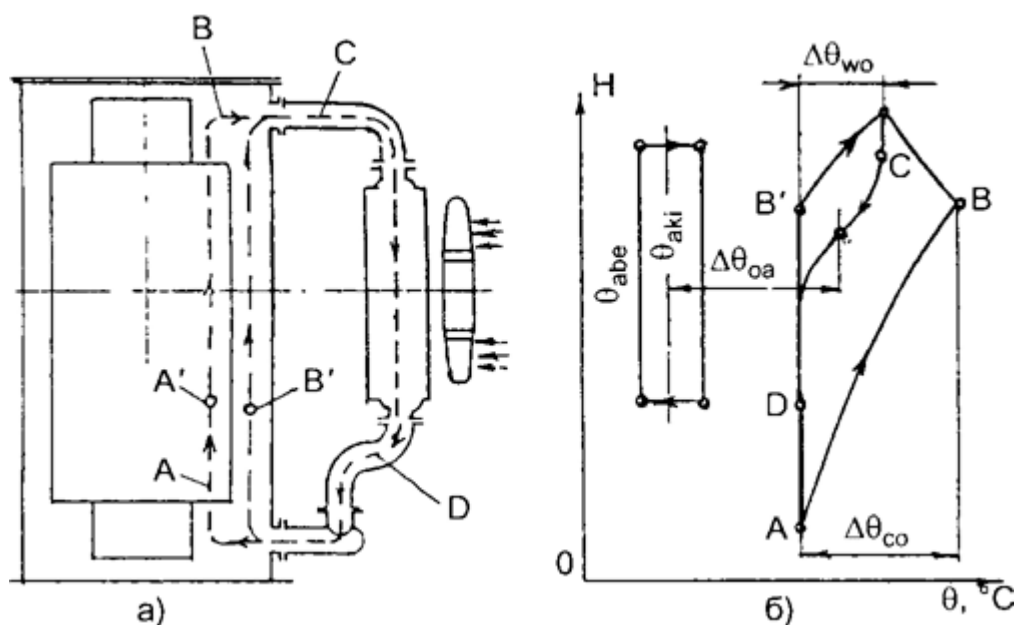


Рисунок 6 – Принципиальная схема охлаждения трансформатора при принудительной циркуляции масла и воздуха

На Рисунке 6 изображены принципиальная схема охлаждения при принудительной циркуляции масла и диаграмма распределения температур, из которой видно, что включение насоса мало влияет на процесс теплоотдачи в обмотке. Масло, нагретое в обмотке и движущееся по пути A' , перемешивается с маслом, движущимся по пути B' вдоль стенки бака вне обмотки. Из-за такого перемешивания практически невозможно измерение температуры масла, выходящего из обмотки. Фактическая температура масла, протекающего по обмотке, будет выше, чем температура, измеряемая термодатчиками, расположенными в верхней части бака под крышкой. Из-за перемешивания непосредственное измерение температуры выходящего из обмотки нагретого масла затруднено и термодатчиками, размещенными под крышкой, измеряется температура перемешанного масла.

Из-за перемешивания в охладители поступает уже несколько охлажденное масло и, таким образом, температура масла на входе в охладитель меньше, чем наибольшая температура масла в обмотке. Перемешивание масла приводит также к тому, что при одних и тех же потерях насосом приходится перекачивать больше масла с пониженной температурой, чем это требовалось

бы при отсутствии перемешивания. Поскольку скорость масла в обмотке мало отличается от скорости при естественной циркуляции, поверхностная плотность теплового потока обмотки не должна быть большей, чем при естественной циркуляции. Преимуществом применения охладителей с принудительной циркуляцией масла является то, что они занимают мало места, имеют меньшую удельную стоимость и могут быть размещены на любой высоте.

1.2.4 Система масляно-водяного охлаждения трансформаторов с принудительной циркуляцией масла Ц (НЦ)

Для мощных силовых масляных трансформаторов мощностью более 160 МВА, устанавливаемых в гидроэлектростанциях применяется маслководяная система охлаждения Ц.

В зависимости от конструкции трансформатора и принятой схемы охлаждения обмоток, применяются два исполнения охлаждения:

- система охлаждения без направленного движения масла через обмотки;
- система охлаждения трансформатора с направленным движением масла через обмотки.

Охлаждение трансформатора происходит путем забора электронасосом из верхней части бака через патрубок горячего масла, которое затем нагнетается в маслоохладители. В маслоохладителях происходит теплообмен между маслом и водой. Охлажденное масло через фильтры для очистки масла от механических примесей поступает в нижнюю часть бака трансформатора. Фильтры очистки масла от механических примесей могут, в случае засорения, отключаться от системы охлаждения для их очистки и промывки. При работе системы охлаждения адсорбционные фильтры производят непрерывную регенерацию масла путем отвода из масла влаги, кислот и перекисных соединений. Присоединение адсорбционных фильтров выполнено

петлеобразными маслопроводами с запорной арматурой. Для перезарядки и включения в работу адсорбционные фильтры подключаются в верхних точках маслопровода.

Охлаждение трансформатора по схеме с направленным движением масла через обмотки происходит так же, как и по схеме без направленного движения масла, за исключением того, что часть охлажденного масла подается непосредственно в обмотки, остальная часть — идет в бак.

Охлаждающей средой в маслоохладителях является вода, которая в трубном пучке идет навстречу маслу в межтрубном пространстве. Для исключения превышения давления воды над маслом предусмотрено устройство разрыва струи воды в маслоохладителе, т. е. переливная труба находится на 1160 мм ниже минимального уровня масла в расширителе. На сливном трубопроводе воды каждого маслоохладителя установлено устройство для визуального контроля наличия масла в воде. Для исключения попадания воздуха в водяную полость маслоохладителя на выходном трубопроводе воды на расстоянии 0,5 метра от патрубка маслоохладителя предусмотрен вертикальный участок трубопровода высотой 0,5 м. На магистральных маслопроводах в непосредственной близости от трансформатора, на маслопроводах соединения охладителей с напорным коллектором установлены технологические патрубки с запорной арматурой для возможности вакуумирования и заливки дегазированным маслом системы в целом. В системе охлаждения предусмотрен резервный маслоохладитель для возможности вывода в ремонт одного из маслоохладителей и в процессе эксплуатации. Резервный электронасос предусмотрен для включения взамен аварийно выведенного из работы.

При температуре масла в баке трансформатора ниже +15 °С циркуляцию масла в трансформаторе создает пусковой электронасос. При достижении температуры масла в баке выше +15 °С, автоматически включаются рабочие насосы, а пусковой отключается. После отключения пускового насоса его напорный трубопровод автоматически запирается обратным клапаном.

Масловодяные охладители являются наиболее эффективными в сериях МП и МО. В гладкотрубных охладителях коэффициент теплоотдачи со стороны масла меньше, чем со стороны воды. Для интенсификации теплообмена поверхность охлаждения со стороны масла увеличивается за счет оребрения труб. Для повышения качества охлаждающей воды в охладителях применяются латунные трубы с медным проволочным оребрением и с продольным их обтеканием маслом.

На Рисунке 7 показана схема масловодяного охладителя.

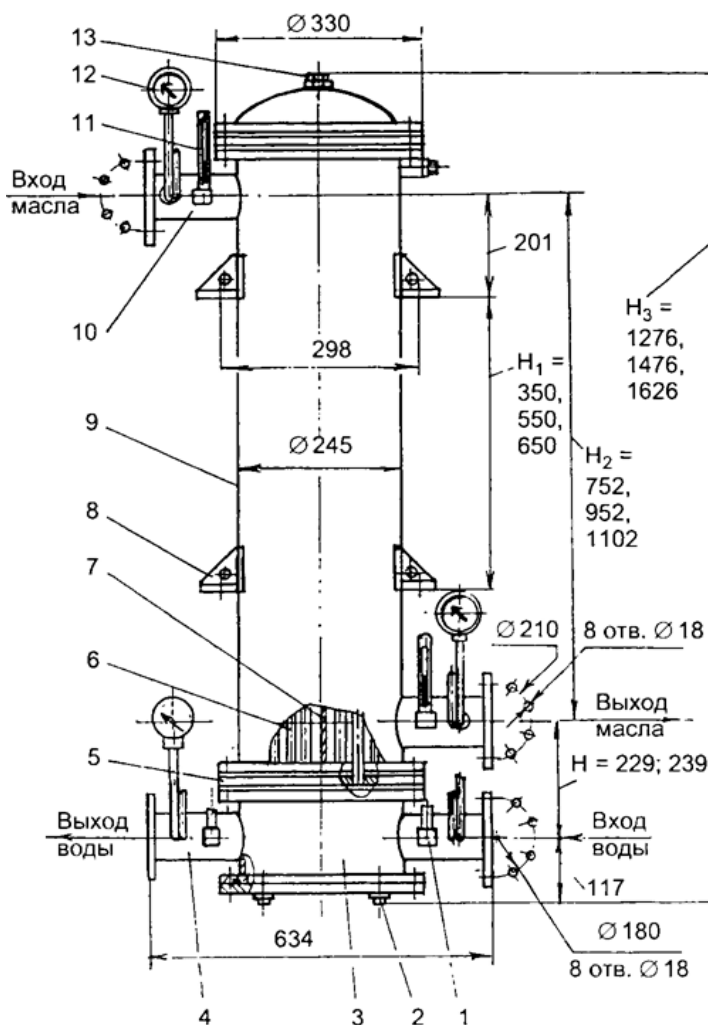


Рисунок 7 – Масляно-водяной охладитель серии Ц:

1 — патрубок входа воды; 2 — пробка спуска воды; 3 — водяная камера;
4 — патрубок выхода воды; 5 — трубная доска; 6 — трубки; 7 — диафрагма; 8
— кронштейн; 9 — корпус; 10 — патрубок входа масла; 11 — термометр; 12 —
манометр; 13 — пробка выпуска воздуха; 14 — патрубок входа масла

На Рисунке 8 показана принципиальная схема водомасляного охлаждения трансформатора. Основным элементом системы охлаждения являются водомасляные охладители, имеющие масляные и водяные полости. Масляные полости соединены маслопроводом с баком трансформатора, а водяные — водопроводом с источником водоснабжения. Для предотвращения замерзания воды маслоохладители размещают, как правило, в помещении с положительной температурой воздуха. В южных районах страны, где среднегодовая температура воздуха не ниже $+10 - +15^{\circ}\text{C}$, допускается наружная установка охладителей. В охладителях гидростатическое давление масла всегда должно превышать давление воды.

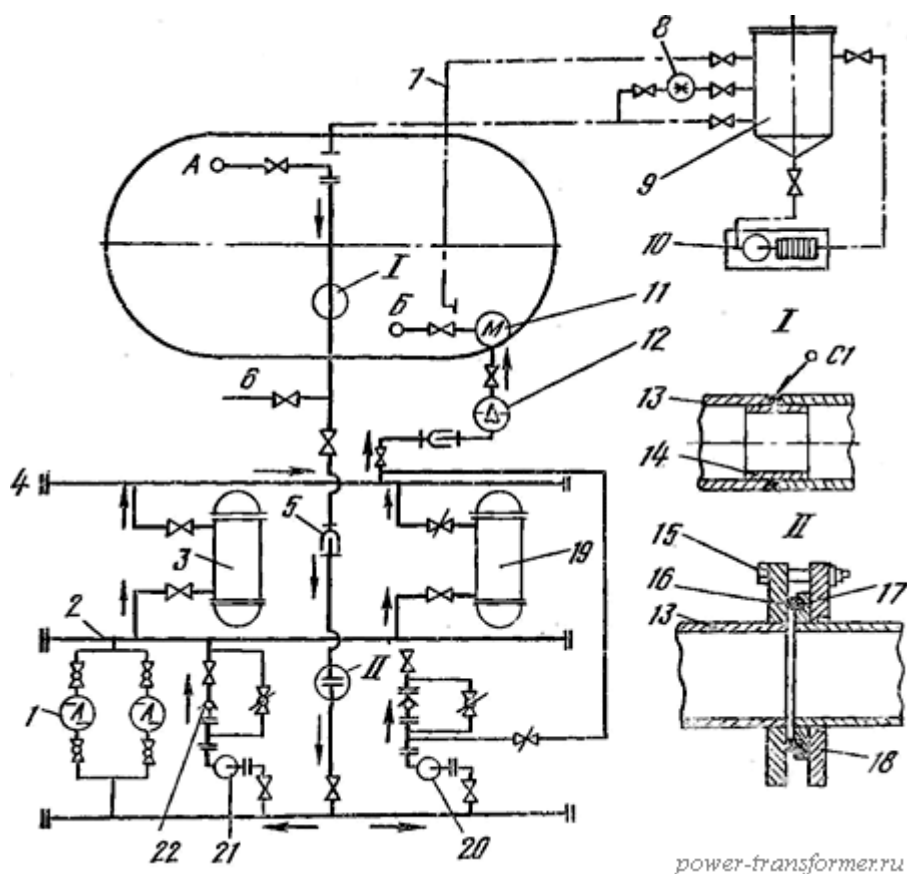


Рисунок 8 – Схема водомасляного охлаждения:

1 — фильтр адсорбционный; 2 — маслопровод; 3 — маслоохладитель; 4 — маслопровод для заливки системы охлаждения трансформаторным маслом; 5 — компенсатор; 6 — маслопровод для подсоединения к вакуум-насосу; 7 — временный маслопровод; 8 — шестеренчатый насос; 9 — вспомогательный бак

с нагревателем; 10 — фильтр-пресс; 11 — фильтр масляный; 12 — диафрагма камерная; 13 — маслопровод; 14 — втулка; 15 — фланец неподвижный; 16 — прокладка; 17 — кольцо; 18 — фланец подвижный; 19 — маслоохладитель резервный; 20 — электронасос пусковой резервный; 21 — электронасос рабочий; 22 — клапан обратный; А — забор масла с бака трансформатора; Б — выход масла из системы охлаждения в бак трансформатора

Система подачи воды в охладители должна обеспечить: требуемый расход воды через водяные полости охладителей, ограничение давления воды в полости до требуемых значений, возможность полного слива воды из охладителей.

Подачу воды в водяные полости охладителей осуществляют при помощи водяных центробежных насосов или самотеком. Давление воды на входе в охладитель обычно ограничивают при помощи дроссельных клапанов. На случай отказа дроссельного клапана на общих трубопроводах охладителей делают изгибы типа «утка» высотой, заданной расчетом. Для охлаждения применяют пресную и морскую воду с температурой не более 25°C, предварительно очищая ее от механических примесей.

Система циркуляции масла через охладители состоит из электронасосов типа Т или ТЭ, маслопроводов, запорной арматуры и контрольно-измерительных приборов. В маслопроводе устанавливают пластинчатые фильтры для очистки масла от механических примесей и адсорбционные фильтры для регенерации масла.

Маслонасосы устанавливают перед охладителями. Это исключает подсос воздуха в охладители при нарушении их герметичности.

В настоящее время в основном применяют схемы охлаждения с параллельным подключением электронасосов и маслоохладителей путем подсоединения их входных и выходных патрубков к общим коллекторам. Такая схема подключения обеспечивает более надежную работу системы охлаждения,

так как прекращение работы одного из насосов не вызывает выхода из строя охладителя. На выходе каждого маслонасоса устанавливают обратный клапан.

В схеме системы охлаждения типа Ц предусмотрен пусковой маслонасос, предназначенный для создания циркуляции масла в трансформаторе без захода его в охладители. Это необходимо для исключения попадания холодного масла в охладители и замерзания в них воды, а также облегчения работы рабочих маслонасосов в случае включения системы охлаждения в условиях низкой температуры при большой вязкости масла. Пусковой насос отключают после того, как температура масла достигнет $+15^{\circ}\text{C}$. В некоторых схемах роль пускового насоса выполняет один из рабочих маслонасосов.

При работе системы охлаждения горячее масло из верхней части бака трансформатора всасывается маслонасосами, прокачивается через масляные полости охладителей и поступает в нижнюю часть бака. Одновременно в водяные полости охладителя подается вода, которая охлаждает масло трансформатора.

В системах охлаждения трансформаторов применяют водомасляные охладители вертикальной и горизонтальной установки.

Ниже рассмотрена конструкция водомасляного охладителя горизонтальной установки типа МО-53 (Рисунок 9).

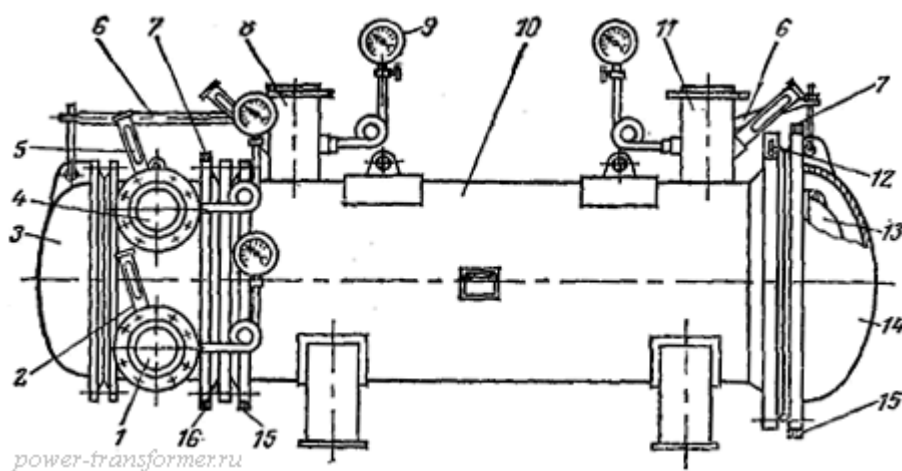


Рисунок 9 – Конструкция водомасляного охладителя горизонтальной установки типа МО-53:

1 — входной патрубок для воды; 2 — водяная камера; 3, 13, 14 — крышки; 4 — выходной патрубок для воды; 5 — термометр; 6 — кронштейн; 7 — пробка для выпуска воздуха; 8 — выходной патрубок для масла; 9 — манометр; 10 — корпус; 11 — входной патрубок для масла; 12 — шток вентиля; 15 — пробка для спуска масла; 16 — пробка для спуска, воды

Охладитель представляет собой стальной цилиндрический корпус, внутри которого помещен пучок охлаждающих труб. Концы труб закреплены в круглых трубных досках. Одна трубная доска закреплена жестко между фланцами корпуса, а вторая герметизирована крышкой и благодаря наличию сальникового компенсатора имеет возможность перемещаться относительно корпуса. Этим исключается возникновение в период нагрева механических напряжений, которые могли бы нарушить герметичность охлаждающих труб. К одному из торцов корпуса прикреплена водяная камера, второй конец герметизирован крышкой с уплотняющей прокладкой.

Водяная камера имеет патрубки для подсоединения водопровода и пробки для слива воды и выпуска воздуха. С торца камера герметизирована крышкой с уплотнением.

В корпусе охладителя имеется входной и выходной патрубки для присоединения маслопровода, пробки для слива масла и выпуска воздуха. В нижней части корпуса приварены установочные стойки.

Конструкция маслоохладителей предусматривает возможность выемки трубного пучка для ревизии и очистки. Для демонтажа крышек корпуса и водяной камеры на корпусе закреплены специальные кронштейны.

Водяные маслоохладители комплектуют приборами контроля давления и температуры воды и масла. В процессе работы охладителя вода движется по трубкам, образующим поверхность охлаждения для масла. Благодаря наличию в полостях воды специальных перегородок охлаждающая вода совершает четыре хода. Масло движется в межтрубном пространстве, которое тоже разделено перегородками.

Маслопровод в основном изготавливают на месте установки из нержавеющей стали марки Х18Н9Т по ГОСТ 5632 72.

2 Исследование структуры и принципа работы системы охлаждения трансформаторов ОРЦ-533000/500-У1

2.1 Технические характеристики трансформаторов ОРЦ-533000/500-У1

Трансформаторная группа укрупненного блока Саяно-Шушенской ГЭС собрана из трех однофазных масляных трансформаторов типа ОРЦ-533000/500-У1 имеющих расщепленную обмотку НН и систему охлаждения типа OFWF. Согласно заводской инструкции трансформатор ОРЦ-533000/500-У1 имеет габаритные размеры (в транспорте состоянии): длина -8690 мм; ширина 3650 мм; высота 5000 мм.

Трансформаторная группа имеет схему и группу соединения обмоток $Y_0/\Delta/\Delta-11-11$.

Основные технические характеристики ОРЦ-533000/500-У1 приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики

Номинальная мощность, кВА	533000
Номинальное напряжение, кВ	
ВН	$525/\sqrt{3}$
НН1-НН2	15,75-15,75
Номинальный ток, А	
ВН	1758,5
НН1-НН2	16921-16921
Схема и группа соединения обмоток	1/1-1-0-0
Напряжение короткого замыкания, %	$13,5 \pm 10 \%$
Потери холостого хода, кВт	$200 + 15 \%$
Потери короткого замыкания, кВт	$1180 + 10 \%$
Полная масса, т	311
Масса масла, т	43,8
Срок службы	не менее 40 лет

Основные сборочные единицы трансформатора указаны в Приложении А.

Трансформаторы эксплуатируются заполненными ингибированным трансформаторным маслом Nyltol1GX.

В конструкцию каждой фазы трансформатора блока входят:

- остов, состоящий из магнитопровода и элементов конструкции обеспечивающих механическую прочность магнитопровода и всей активной части. Магнитопровод собран из листов холоднокатаной электротехнической стали с жаростойким изоляционным покрытием и имеет два стержня, на которых располагаются обмотки.

- обмотки, выполненные из медных прямоугольных проводов с бумажной изоляцией, расположены на стержнях магнитопровода с последовательностью расположения от стержня – обмотка НН, ВН.

Изоляция между обмотками, а также от обмоток до заземленных частей (магнитопровод и бак) выполнена маслостойкой с использованием листов из электротехнического картона, которые располагаются между собой при помощи картонных реек и прокладок, образующих масляные каналы.

- отводы:

- НН выполнены из медных шин и гибкого медного провода, изолированного бумагой. К гибким медным проводам допаяны контактные пластины, которые присоединяются к контактными пластинам вводов НН;

- линейный отвод ВН выполнен из медного прутка, изолированного бумагой и медного гибкого провода.

- вводы, установленные на трансформаторе:

- линейный зажим 525 кВ – ввод GSB 550/2000/0,6 (конденсаторный с RIP изоляцией), изготовитель «ABB»;

- линейный зажим 15,75 кВ – ввод GON170/25, изготовитель «ABB»;

- нейтральный зажим ВН – ввод ВСТБ-35/2500-1-01, изготовитель «ZTR».

- бак трансформатора – колокольного типа состоящий из верхней (съемной) и нижней частей соединенных между собой с помощью болтового соединения с уплотнением резиновыми прокладками.

На баке предусмотрена запорная арматура для:

- присоединения вакуум насоса;
- присоединения маслоочистительной установки;
- слива и заливки масла под вакуумом;
- отбора проб масла;
- присоединения расширителя и реле Бухгольца;
- для взятия пробы газа из реле Бухгольца;
- выпуска воздуха из верхней части бака (пробки на кожухах вводов, заглушках, маслопроводах).

На баке имеются люки для осмотров и выполнения ремонтных работ внутри бака без подъема колокола.

- активная часть установлена в баке на прокладках из электрокартона.
- Заземление активной части и магнитной системы остова на бак осуществляется снаружи бака через отдельные проходные вводы.
- расширитель предназначен для компенсации объема бака трансформатора при температурных изменениях объема масла.

В расширителе трансформатора имеется гибкая оболочка для предохранения масла от соприкосновения с окружающим воздухом.

- система охлаждения – типа OFWF состоит из 3-х охлаждающих устройств типа MO53-4-1 (2 рабочих+1 резерв).

Конструкция системы охлаждения позволяет производить вакуумировку системы при заливке масла.

В составе каждой фазы трансформатора блока имеются следующие контрольно-измерительные приборы и защитные устройства:

- газовое реле Бухгольца с устройством для отбора проб газа;
- отсечной клапан для аварийного перекрытия масла в маслопроводе от расширителя и баку трансформатора (производства SERGI);
- два устройства сброса давления для аварийного снижения повышенного давления внутри бака трансформатора;

- указатель уровня масла с контактами сигнализации минимального и максимального уровня масла в расширителе;
- датчики контроля температуры верхних и нижних слоев масла, а также обмотки;
- датчики контроля содержания газов и влаги, растворенных в масле (HYDRAN M2);
- индикаторы температуры обмотки ВН – 1 шт., предусматривающие выдачу сигналов:
 - предупреждения о достижении обмоткой температуры 105°C;
 - на отключение трансформатора при достижении обмоткой температуры 115°C.
- индикаторы температуры масла – 2 шт., предусматривающий выдачу сигналов:
 - на переключение уставки пускового насоса при 5°C;
 - на отключение пускового и включение рабочих насосов при 15°C;
 - на включение резервного насоса при 78°C;
 - предупреждение о достижении температуры масла 90°C;
 - на отключение трансформатора при достижении температуры масла 100°C.
- оптоволоконные датчики и монитор для измерения и отображения температур обмоток ВН и НН предусматривающие выдачу сигналов:
 - предупреждения о достижении обмоткой температуры 105°C;
 - на отключение трансформатора при достижении обмоткой температуры 115°C.

2.2 Система охлаждения трансформаторов ОРЦ-533000/500-У1

Трансформатор ОРЦ-533000/500-У1 имеет систему масляно-водяного охлаждения с принудительной циркуляцией масла Ц (OFWF – Oil Force Water Force)

Система охлаждения типа OFWF предназначена для отвода тепловых потерь трансформатора блока и состоит (на каждой фазе) из:

- 3-х маслоохладителей (2 рабочих, 1 резервного) типа МО-53-4-1;
- 3-х электронасосов (2 рабочих, 1 резервного) типа 1ТЭ 100/20;
- пускового электронасоса типа 1ТЭ-100/15;
- патрубков забора горячего масла из верхней части бака трансформатора;
- патрубков нагнетания охлажденного масла в нижнюю часть бака трансформатора.

Состав описанной системы показан на Рисунке 10.

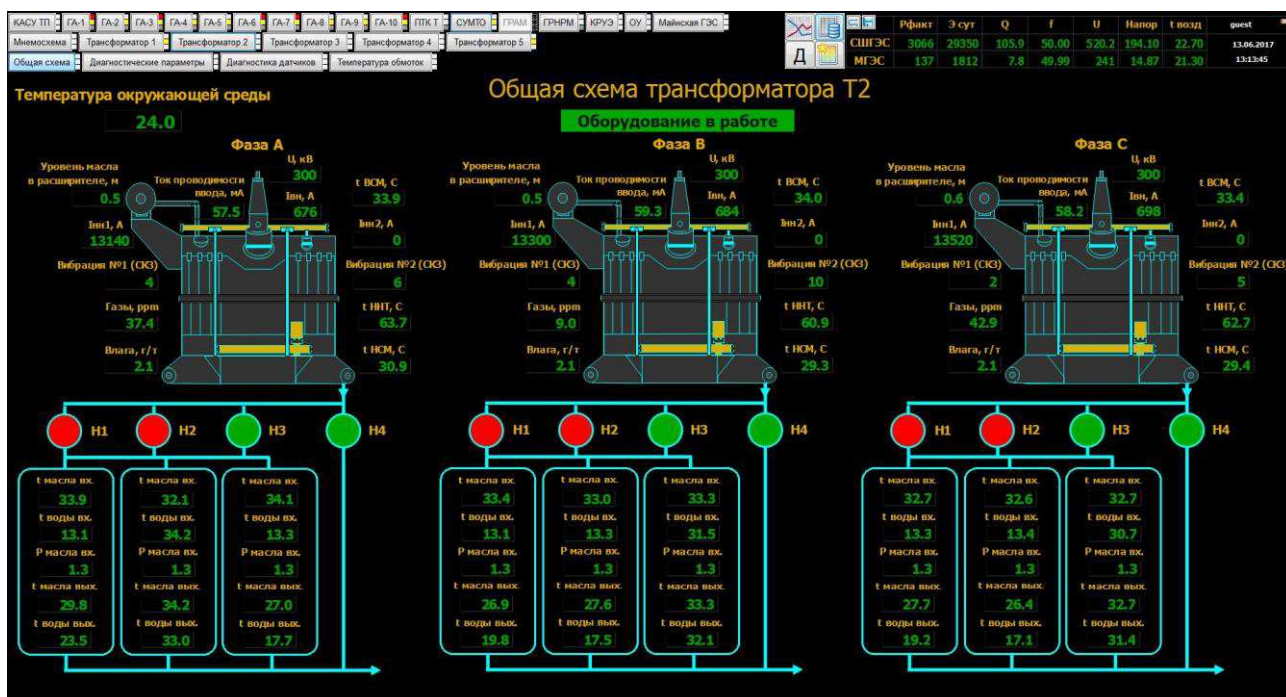


Рисунок 10 – Внешний вид вкладки системы мониторинга и диагностики трансформаторного оборудования

Для обеспечения работоспособности и обслуживания системы охлаждения имеются:

- термометры и манометры для определения температуры и давления воды и трансформаторного масла на входе и выходе каждого маслоохладителя;

- абсорбционные фильтры для регенерации трансформаторного масла;
- фильтр очистки масла от механических примесей;
- шкафы питания и управления охлаждением (ШПОТ, ШОТ, ШОМ).

При включении трансформатора под напряжение включаются рабочие насосы обеспечивающие отвод горячего масла по маслопроводу (патрубкам) из бака трансформатора и подачу его в межтрубное пространство маслоохладителей, где масло охлаждается водой циркулирующей в теплообменных трубах. Охлажденное масло из маслоохладителей по маслопроводу подается в нижнюю часть бака трансформатора. Принудительная циркуляция масла должна быть непрерывной независимо от нагрузки.

При отключении одного рабочего электронасоса автоматически включается резервный электронасос.

При температуре масла в баке трансформатора ниже $+15^{\circ}\text{C}$ циркуляцию масла создает пусковой электронасос.

При достижении температуры масла выше $+15^{\circ}\text{C}$ автоматически включаются рабочие насосы и отключается пусковой.

В нормальном режиме на каждой фазе трансформатора блока должны работать 2 электронасоса и 2 маслоохладителя.

Подача воды в маслоохладители осуществляется из системы ТВС гидроагрегатов через задвижки с электроприводом, установленными на каждом маслоохладителе.

Питание ($\sim 3 \times 380$ В) системы охлаждения трансформатора блока осуществляется через шкафы питания ШПОТ1 и ШПОТ2, каждый из которых запитан от 2-х источников от автоматических выключателей QF13 и QF6 расположенных в ячейках №13 и №6 агрегатных щитов 0,4 кВ.

Структурная схема питания приведена на Рисунке 11.

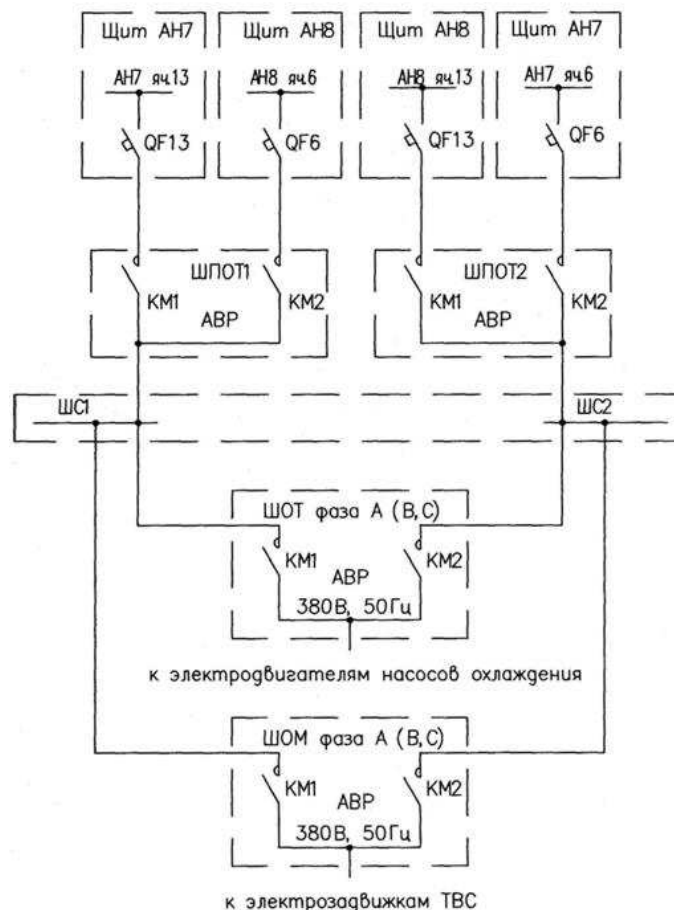


Рисунок 11 – Структурная схема питания системы охлаждения трансформатора

Схема приведена для трансформатора Т4, для Т3 и Т5 меняются наименования щитов АН7 на АН5 и АН9, АН8 на АН6 и АН10 соответственно.

От ШПОТ1 и ШПОТ2 запитаны распределительные шины ШС1 и ШС2 расположенные в шкафу ШС от которых питаются шкафы автоматического и ручного управления охлаждением фаз блочного трансформатора – шкафы ШОТ (А,В,С).

В шкафах ШОТ предусмотрены АВР источников питания.

Автоматическое управление АВР осуществляется при установке рукоятки переключателя SA10 в положение «Автоматическое». В этом случае АВР производит автоматический выбор между «основным» и «вспомогательным» источниками питания. При нормальной работе обоих источников питание ШОТ будет осуществляться от «Основного» источника питания.

Ручное управление АВР осуществляется при установке рукоятки переключателя SA10 в положение «Основной» или «Вспомогательный». В этом случае питание шкафа ШОТ будет осуществляться соответственно от «Основного» и «Вспомогательного» источника питания.

Система охлаждения трансформаторов в нормальном режиме должна эксплуатироваться в автоматическом режиме. Автоматическое управление системой охлаждения осуществляется при установке рукояток переключателей SA1÷SA4 в положение «Автоматическое».

Работа оборудования системы охлаждения в автоматическом режиме предусматривает включение насосов системы охлаждения фаз трансформатора блока при включении их на холостой ход.

При выходе из строя (отключении) любого рабочего насоса либо при повышении температуры масла более 78°C происходит включение резервного насоса.

Ручное включение насосов системы охлаждения осуществляется установкой рукоятки соответствующего переключателя SA1, SA2, SA3, SA4 в положение «Ручное» и нажатием соответствующей кнопки SB в положение «I» («Пуск»).

Отключение насосов осуществляется нажатием соответствующей кнопки SB в положение «O» («Стоп»).

Шкафы ШОМ (А, В, С) предназначены для управления моторными задвижками ТВС на входе и выходе маслоохладителей, также получают питание от 2-х источников (~380 В) – от распределительных шин ШС1 и ШС2.

В шкафах ШОМ предусмотрены АВР источников питания.

При потере питания системы охлаждения на любой фазе трансформатора блока запускается технологическая защита от потери охлаждения трансформатора, которая с выдержкой времени зависимой от нагрузки на трансформаторе действует на отключение трансформатора от сети.

2.3 Описание датчиков

В процессе написания магистерской диссертации было проведено исследование устройства и принципа действия датчиков теплового контроля состояния трансформатора ОРЦ-533000/500-У. Полученные данные с этих датчиков необходимы для реализации и применения предложенных алгоритмов оперативного контроля и раннего предупреждения.

Необходимые данные с датчиков отображаются и хранятся на верхнем уровне АСУ ТП ГЭС.

2.3.1 ТСПУ 0104

Для измерения температуры верхних и нижних слоёв масла, а также температуры окружающего воздуха используют термодатчики типа ТСПУ 0104.

Термопреобразователи предназначены для преобразования температуры различных, в том числе и агрессивных, сред в унифицированный токовый сигнал 4...20 мА.

Данные датчик относятся к аналоговому типу с возможностью перенастройки на разные диапазоны преобразуемых температур.

Применяются в гидроэнергетике, теплоэнергетике, металлургической и других отраслях промышленности.

В состав термопреобразователей ТСПУ 0104 входят:

- клеммная головка (корпус);
- измерительный (нормирующий) преобразователь ИП 0104 (ИП 0104Ex), который встраивается в клеммную головку;
- термозонд — термопреобразователь сопротивления (ТС) или термоэлектрический преобразователя (ТП), который вкручивается в клеммную головку;

Термопреобразователи имеют возможность смены термозонда и выбора нижнего и верхнего пределов измерения преобразуемых температур с помощью переключателей.

Состав датчика показан на Рисунке 12.

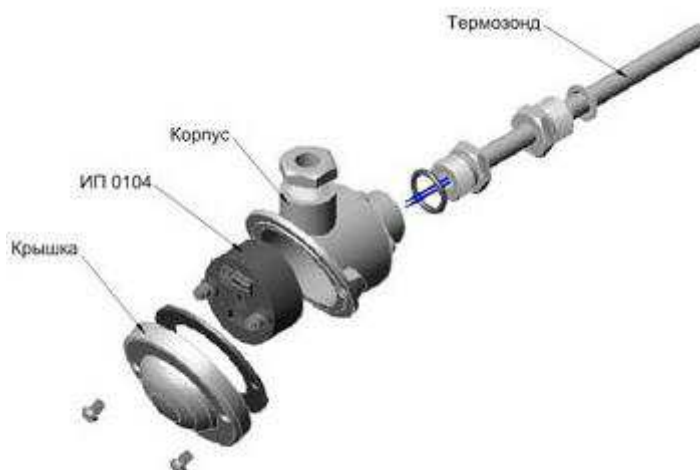


Рисунок 12 - Состав датчика ТСПУ 0104

2.3.2 ИТ-1Ц

Температура масла на входе в маслоохладитель и выходе из него измеряется термопреобразователями ИТ-1Ц. Данный датчик представлен на Рисунке 13.



Рисунок 13 – Термопреобразователь ИТ-1Ц

Преобразователи температуры ИТ-1Ц предназначены для измерения, цифровой индикации и преобразования в унифицированный сигнал постоянного тока температуры жидких, газообразных и сыпучих сред. Изделия применяются в автоматических и автоматизированных системах регулирования, контроля и управления технологическими процессами.

Состоят из термозонда (термометр сопротивления) и измерительного блока с цифровым четырёхразрядным жидкокристаллическим индикатором. Эти температурные датчики являются программируемыми.

Имеют два исполнения:

- ИТ-1Ц.А – термозонд жёстко закреплён с измерительным блоком;
- ИТ-1Ц.Б – термозонд соединён с измерительным зондом электрическим кабелем.

Ниже в Таблице 2 представлены технические параметры датчика.

Таблица 2 – Технические параметры датчика ИТ-1Ц

Наименование параметра	Значение параметра
Диапазон преобразования	Программируется пользователем в допускаемых пределах
Класс точности	0,5
Показатель тепловой инерции	
ИТ-1Ц.А	20 с
ИТ-1Ц.Б	40 с
Входной сигнал	Постоянный ток (4...20) мА, двухпроводная система
Напряжение питания постоянного тока	(9...30) В
Потребляемая мощность, не более	0.6 ВА
Температура окружающего воздуха	(-30...+70) °С
Относительная влажность окружающего воздуха	Не более 95% при 35 °С
Атмосферное давление	От 84 до 106.7 кПа
Давление рабочей среды	6.3 МПа
Материал защитной арматуры	сталь 12х18Н10Т
Материал корпуса электронного блока	Поликарбонат
Длина погружаемой части	(80, 100, 120, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000) мм
Средняя наработка на отказ	Не менее 32000 ч
Средний срок службы	Не менее 10 лет

3 Разработка и описание алгоритмов оперативного мониторинга и раннего оповещения

В данной работе рассматривается возможность разработки алгоритмов для реализации оперативного контроля за работой маслоохладителей, мониторинга за тепловым состоянием обмотки трансформаторов и оповещения об отклонении от нормального режима работы системы охлаждения. В качестве примера взяты трансформаторы ОРЦ-533000/500-У1 Филиала ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС им. П.С.Непорожнего» и их охладители.

Саяно-Шушенская гидроэлектростанция является мощнейшей ГЭС в России. Установленная мощность станции на составляет 6400 МВт, годовая выработка более 24 млрд кВт*час. Выработанная электрическая энергия передается по 4 ЛЭП на подстанции Означенное и Новокузнецкая. Работа СШГЭС осуществляется в полупиковом режиме.

Трансформаторы играют немаловажную роль в транспортировке электроэнергии. Для стабильной работы трансформаторного оборудования и, как следствие, для большей устойчивости энергосистемы, уделяют особое внимание работоспособности системы охлаждения.

В основном нагрев трансформаторного оборудования происходит из-за потери энергии. Эти потери образуются во время прохождения тока по обмоткам и магнитного потока по магнитопроводу. Выделяющееся тепло при этих процессах нагревает обмотки и магнитопровод трансформатора, рассеивается в окружающую среду и отводится при помощи водомасляной системы охлаждения.

Отвод тепла представляет из себя сложный процесс. Так как трансформаторы ОРЦ-533000/500 У1 являются масляными, основными телами нагрева являются: магнитопровод, обмотка и трансформаторное масло. Из этого следует, что охлаждение трансформатора – это охлаждение системы, состоящей из трёх тел. Тепло, выделяемое при работе, проходит от одной среды к другой. Этот процесс можно разбить на несколько участков:

- от внутренних точек обмотки или сердечника до их наружных поверхностей, омываемых маслом. На этом участке теплопередача осуществляется путем теплопроводности. При расчете принято определять не температуру наиболее нагретой точки обмотки, а среднюю температуру всей обмотки;

- переход тепла от обмоток к маслу, происходит при наличии разности температур обмоток и масла;

- переход тепла на участке от обмотки до стенки бака и трубок маслоохладителей.

Потери активной мощности состоят из:

- потерь на нагревание обмоток трансформатора, зависящих от тока нагрузки;

- потерь на нагревание стали, не зависящих от тока нагрузки.

Работа алгоритмов основана на анализе тенденции изменения исследуемого параметра.

В данной работе представлено три алгоритма оперативного мониторинга и контроля:

- мониторинг за рабочим состоянием маслоохладителей;
- мониторинг за состоянием температуры обмотки трансформатора;
- слежение за состоянием давления воды и масла в каждом маслоохладителе.

Так как данная методика анализа параметров ещё не применялась для трансформаторов, во всех алгоритмах величины уставок и задержек необходимо уточнять по результатам опытной эксплуатации.

3.1 Применяемый принцип действия системы охлаждения на трансформаторах СШГЭС

Система охлаждения действует по принципу «сухой контакт». При достижении температуры определённого значения выполняется то или иное действие.

При температуре масла в баке трансформатора ниже $+15^{\circ}\text{C}$ циркуляцию масла создает пусковой электронасос. При достижении температуры масла выше $+15^{\circ}\text{C}$ автоматически включаются рабочие насосы и отключается пусковой. Если температура изначально была выше $+15^{\circ}\text{C}$, сразу включают в работу рабочие насосы.

В нормальном режиме на каждой фазе трансформатора блока должны работать 2 электронасоса и 2 маслоохладителя.

При выходе из строя (отключении) любого рабочего насоса либо при повышении температуры масла более 78°C происходит включение резервного насоса.

При дальнейшем повышении температуры термические индикаторы масла (2 шт.), установленные на каждой фазе трансформаторов блока, при достижении температуры масла 90°C действуют на сигнал, а при достижении температуры масла 100°C действуют на отключение трансформатора через МП защиты.

Иллюстрация данного процесса показана на Рисунке 15.

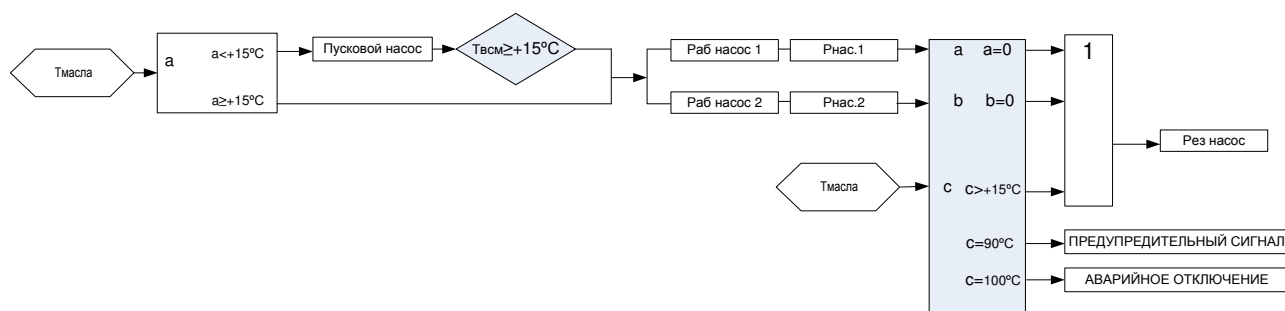


Рисунок 15 – Схема действия системы охлаждения трансформаторов СШГЭС

Температура обмоток трансформатора не должна превышать 100°C. На каждой фазе блочных трансформаторов имеются индикаторы температуры наиболее горячей точки обмоток, которые при достижении обмоткой температуры 105°C действуют на сигнал, а при достижении обмоткой температуры 115°C – на отключение трансформатора через МП защиты.

Схема, иллюстрирующая данный процесс указана на Рисунке 16.

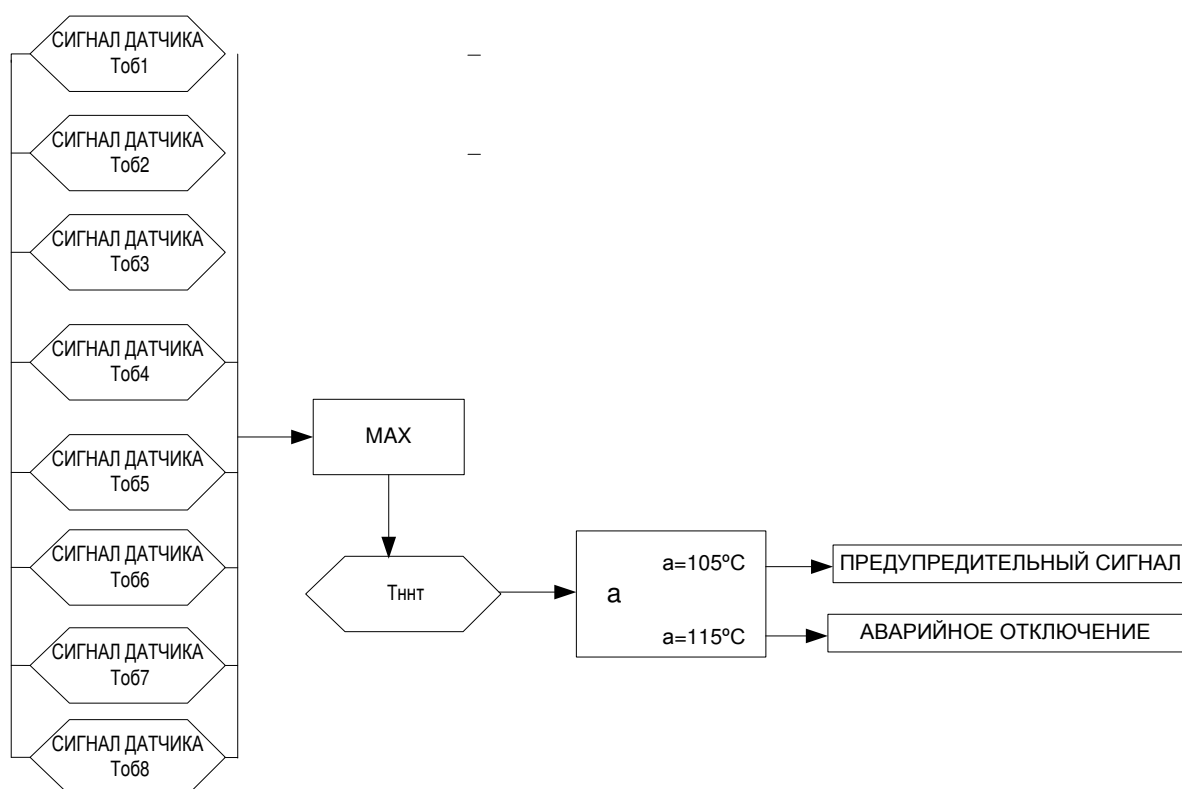
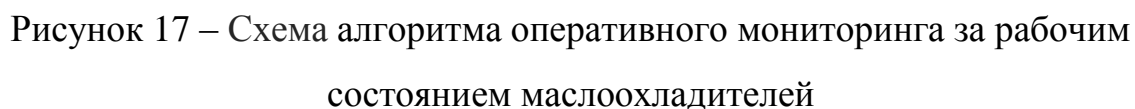


Рисунок 16 – Схема мониторинга за температурой обмотки трансформатора

3.2 Разработка и описание алгоритма оперативного мониторинга за рабочим состоянием маслоохладителей

Рассмотрим первый алгоритм. Предложенная схема алгоритма приведена на Рисунке 17.



При превышении уставки проверяется наличие нагрузки на трансформаторах. Если наблюдается высокая температура верхних слоёв масла,

но отсутствует нагрузка, выводится сигнал «НЕИСПРАВНОСТЬ ДАТЧИКА». Если трансформатор под нагрузкой, сравнивается температура на входе и выходе маслоохладителя. По полученным результатам производится либо сброс сигнала, либо вывод его на монитор АРМ в виде сигнала «НЕИСПРАВНАЯ РАБОТА МАСЛООХЛАДИТЕЛЕЙ». Этот сигнал не является аварийным. Он предназначен для того, чтобы обслуживающий персонал обратил внимание на проблему в работе системы охлаждения трансформатора и успел вовремя разработать и предпринять ряд определённых действий, не допускающих перехода оборудования в предаварийное и аварийное состояние.

Принцип работы алгоритма изложен ниже. Для примера выберем фазу А. Текущее значение температуры верхних слоёв масла $T_{\text{ВСМ}}$ сравнивается с температурой уставки $T_{\text{у.всм а}}$. Если значение температуры, снятое с датчика не превышает уставку (логический «0»), сигнал сбрасывается через логический элемент «ИЛИ» в начало алгоритма. Если значение температуры выше или равно температуре уставки (логическая «1»), проверяется наличие нагрузки. Это необходимо для выявления дефектов датчика. Значение нагрузки (P) сравнивается со значением уставки (P_y). P_y принимаем равное нулю. Если $P=P_y$, выдаётся сигнал «НЕИСПРАВНОСТЬ ДАТЧИКА». Если $P>P_y$, сигнал проходит к сумматору.

Если выявлено, что трансформатор находится под нагрузкой и температура масла выше принятой уставки, проверяется разность температур масла на входе и выходе каждого маслоохладителя. Критерием нормальной работы маслоохладителя является снижение в нем температуры на 10°C при номинальной нагрузке трансформатора [13, с. 15]. Исходя из этого, уставку принимаем равную 10°C . При $|\Delta T|$ ниже установленного критерия у всех охладителей подаётся сигнал «НЕИСПРАВНАЯ РАБОТА МАСЛООХЛАДИТЕЛЕЙ» на АРМ обслуживающего персонала, при учёте исправности всех датчиков. Если хотя бы один охладитель имеет приемлемое

значение температуры охлаждающего масла, сигнал сбрасывается в начало алгоритма.

3.3 Разработка и описание алгоритма оперативного мониторинга за состоянием температуры обмотки трансформатора

Предложенная схема алгоритма приведена на Рисунке 18.

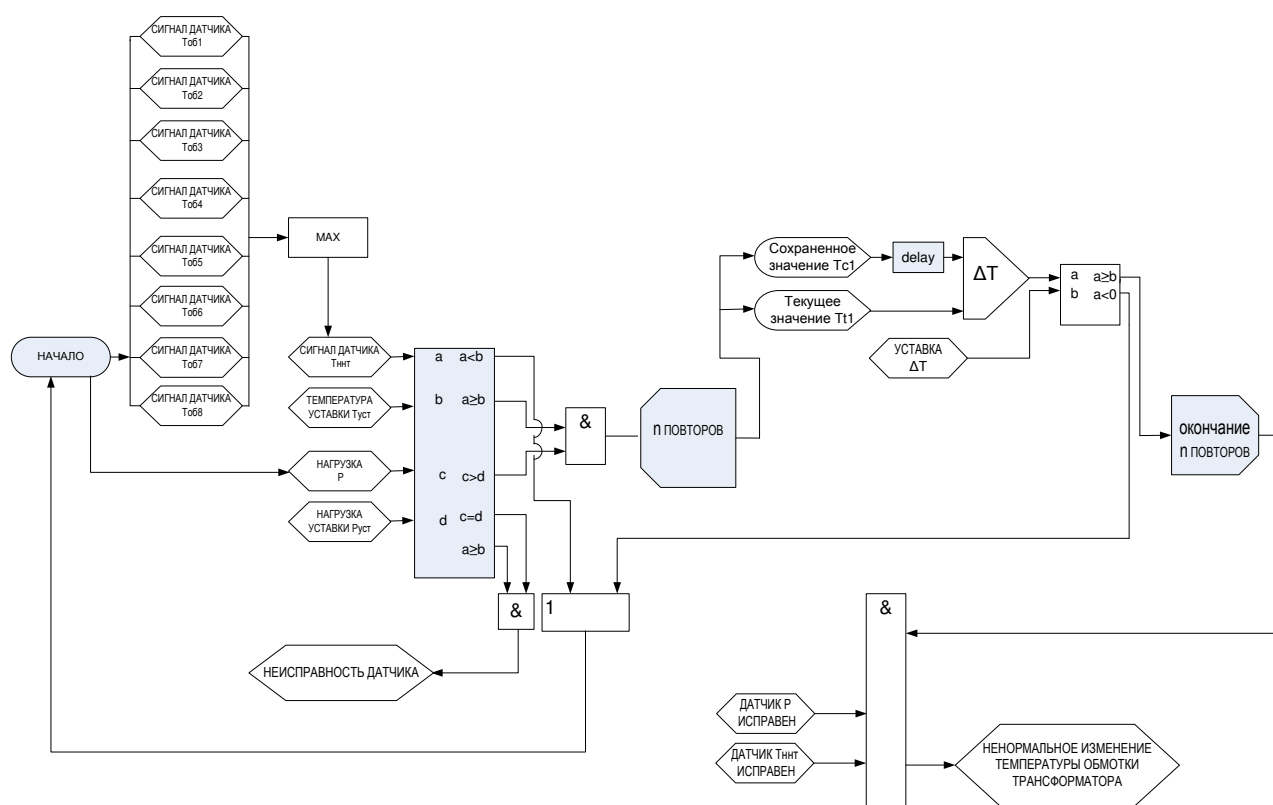


Рисунок 18 - Схема алгоритма мониторинга за состоянием температуры обмотки трансформатора

Сначала определяется наиболее нагретая точка обмотки. На каждой фазе трансформатора имеется по 8 датчиков, измеряющих температуру наиболее нагретых точек обмотки. Сравниваются все 8 значений, за контролируемую величину выбирается наибольшее из них. Далее сравнивается данная температура ННТ с уставочным значением. Его выбирают из диапазона нормальной работы контролируемого оборудования. Предлагается принять

уставку равную 85 °С. Представленный алгоритм может быть использован для проведения оперативного мониторинга за состоянием температуры обмотки трансформатора в нормальном режиме работы. Это поможет выявить дефект на ранней стадии его развития и заблаговременно оповестить обслуживающий персонал о его наличии, не доводя оборудование до предаварийного и аварийного состояния. Тем самым повышается эффективность управления и исключается долгосрочная работа оборудования в неблагоприятных режимах (перегрев). У персонала будет достаточно времени для осуществления необходимых мер для обнаружения и устранения дефекта до срабатывания предупредительной сигнализации.

Принцип работы предложенного алгоритма представлен ниже. Из инструкции по эксплуатации трансформаторов ОРЦ–533000/500–У1 Т1÷Т5 следует, что температура обмоток трансформатора не должна превышать 100°С. На каждой фазе блочных трансформаторов имеются индикаторы температуры наиболее горячей точки обмоток, которые при достижении обмоткой температуры 105°С действуют на сигнал, а при достижении обмоткой температуры 115°С – на отключение трансформатора через МП защиты. Предлагается ввести уставку 85°С.

Наибольшее показание из восьми значений температур $T_{\text{нтт}}$ сравнивается с температурой уставки $T_{\text{уст}}$. Если значение температуры, снятое с датчика не превышает уставку (логический «0»), сигнал сбрасывается через логический элемент «ИЛИ» в начало алгоритма. Если значение температуры выше или равно температуре уставки (логическая «1»), проверяется наличие нагрузки. Это необходимо для выявления дефектов датчика. Значение нагрузки (P) сравнивается со значением уставки (P_y). P_y принимаем равное нулю. Если $P=P_y$, выдаётся сигнал «НЕИСПРАВНОСТЬ ДАТЧИКА». Если $P>P_y$, сигнал проходит к сумматору.

Если температура обмотки, снятая с индикатора температуры, превысила уставку, и трансформатор находится под нагрузкой, проверяется наличие изменения исследуемого параметра и определяется скорость и характер этого

изменения. Анализируется изменение контролируемого параметра. Текущее значение ($T_{t.об}$) сравнивается с сохранённым значением ($T_{с.об}$), выданным с задержкой по времени (10 минут). Процесс сравнения повторяется заданное количество раз (n). Если за 10 минут повышение температуры составило 3°C и больше, следующее сравнение проходит через 1 минуту. Если тенденция роста не изменилась, выдаётся сигнал «НЕНОРМАЛЬНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБМОТКИ ТРАНСФОРМАТОРА». При выявлении продолжительного нагрева происходит слежение за ростом температуры и при достижении значения 90°C импульс проходит дальше по алгоритму. Сброс через логический элемент «ИЛИ» в начало алгоритма происходит в том случае, если температура перестала расти, и её значение стало снижаться. Если данный процесс выявил рост скорости нагрева обмотки или рост температуры с постоянной скоростью, то с учётом исправности датчиков $T_{нтт}$ и P подаётся сигнал «НЕНОРМАЛЬНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБМОТКИ ТРАНСФОРМАТОРА» на пульт управления. Это необходимо для того, чтобы обслуживающий персонал обратил на это внимание и успел разработать ряд действий для устранения неисправности, пока она не переросла в аварийный дефект.

3.4 Алгоритм слежения за состоянием давления воды и масла в каждом маслоохладителе

Предложенная схема алгоритма приведена на Рисунке 19.

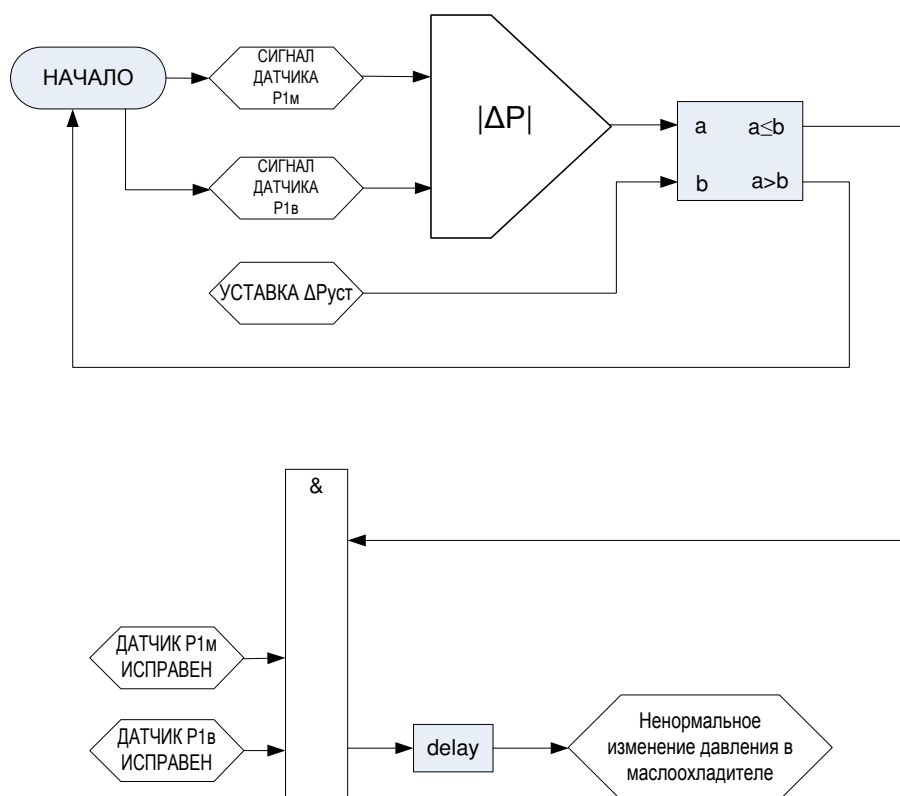


Рисунок 19 – Схема алгоритма слежения за состоянием давления воды и масла в каждом маслоохладителе

В системе охлаждения трансформаторного оборудования имеются барометры, предназначенные для измерения давления воды и трансформаторного масла на входе и выходе каждого маслоохладителя. По требованиям «Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации» при маслководном охлаждении трансформаторов давление масла в маслоохладителях должно превышать давление циркулирующей в них воды не менее чем на 0,1 кгс/см² (10 кПа) при минимальном уровне масла в расширителе трансформатора (пункт 5.3.10).

Исходя из этих требований и для обнаружения несоответствия до аварийного срабатывания системы защиты, примем уставку разности давлений равную $0,2 \text{ кгс/см}^2$ (20 кПа). При необходимости значение задаваемой уставки корректируется.

Превышение давления трансформаторного масла в маслоохладителе необходимо для того, чтобы исключить подсосы воды в масло в случае образования неплотностей и трещин в трубах, по которым циркулирует вода. С этой же целью маслонасосы установлены перед маслоохладителями. Алгоритм предназначен для оперативного оповещения обслуживающего персонала о ненормальном изменении давления охлаждающих сред в маслоохладителях.

Работа алгоритма заключается в следующем. Значения с барометров $P_{1м}$ (давление масла) и $P_{1в}$ (давление воды) сравниваются в реальном времени. Затем полученную разность параметров сравнивают с $\Delta P_{уст}$ (уставка превышения). Если разница между снятыми показаниями превышает уставку, сигнал сбрасывается в начало алгоритма. Если разница между снятыми показаниями меньше или равна уставке и датчики $P_{1м}$ и $P_{1в}$ исправны, тогда после временной задержки подаётся сигнал на монитор АРМ «Ненормальное изменение давления в маслоохладителе».

Данный алгоритм можно применять как для контроля давления охлаждающих сред на входе в маслоохладитель, так и на выходе из него.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для реализации предложенной системы мониторинга состояния маслоохладителей трансформатора нет необходимости вложения крупных денежных средств. Практически вся информация для обработки и анализа поступает с датчиков, которые установлены на оборудовании и имеют связь с СУМТО и АСУ ТП станции.

Предложенные алгоритмы нуждаются в корректировке, которые учитывают особенности оборудования и условия его эксплуатации. Также нужно учитывать, что применение алгоритмов оперативного мониторинга не заменяет используемые методы технологических защит, а дополняет их.

Использование данных алгоритмов возможно на всех трансформаторах с системой охлаждения Ц (масляно-водяное с принудительной циркуляцией масла) с предварительной корректировкой, учитывающей особенности оборудования, его режима работы и местные климатические условия. Также данные разработки можно использовать как основу для создания алгоритмов раннего предупреждения для трансформаторного оборудования с иными видами системы охлаждения.

Применение предложенных алгоритмов позволит:

- Повысить эффективность управления и исключить работу оборудования в режимах с перегревом масла или обмотки;
- Выявлять дефекты системы охлаждения на начальных стадиях развития не доводя до предаварийного и аварийного состояния оборудования;
- Уменьшить количество аварийных отключений оборудования;
- Избежать недоотпуск электроэнергии;
- Повысить устойчивость энергосистем.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ABP	– автоматическое ввод резерва
APM	– автоматизированное рабочее место
АСУ ТП	– автоматизированная система управления технологическим процессом
ВН	– высшее напряжение
ГЭС	– гидроэлектростанция
Д	– система масляного охлаждения с дутьем и естественной циркуляцией масла
ДЦ	– система масляного охлаждения с дутьем и принудительной циркуляцией масла через воздушные охладители
ИП	– измерительный преобразователь
М	– система естественного масляного охлаждения
МП	– маслопереключатель
МО	– маслоохладитель
НН	– низшее напряжение
НЦ	– циркуляция масла и воды с направленным движением масла в обмотках однофазный с расщеплённой нижней обмоткой
ОРЦ	– система масляно-водяного охлаждения с принудительной циркуляцией масла
ПАО	– публичное акционерное общество
ПТЭ	– правила техники эксплуатации
СУМТО	– система управления и мониторинга трансформаторного оборудования
СШГЭС	– Саяно-Шушенская ГЭС
Т	– топливный
Т1-Т5	– трансформаторы 1-5

ТО	– трансформаторное оборудование
ТС	– термопреобразователь сопротивления
ТСПУ	– термопреобразователь с унифицированным входным сигналом
ТЭ	– топливный электрический система масляно-водяного охлаждения
Ц	– трансформаторов с принудительной циркуляцией масла
ШАРМ СУМ	– шкаф автоматизированного рабочего места системы управления
ШОМ	– шкафы охлаждения маслонасосов
ШОТ	– шкафы охлаждения трансформатора
ШПОТ	– шкаф питания охлаждения трансформатора
ШС	– шина силовая
ШУМТ	– шкафы управления мониторингом трансформаторов
ШУМТ-М	– шкафы управления мониторингом трансформаторов микропроцессорные
ЭЦТЭ	– рациональное управление составом агрегатов
QF	– автоматический выключатель
RIP изоляция	– изоляция бумага пропитанная смолой
SA	– переключатель

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) ИЕС 76-2. Power transformers. Part 2. Temperature rise1.
- 2) Studfiles. Расчет потерь энергии в трансформаторах [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.studfiles.ru/preview/5441025/page:4/>
- 3) Беркович М.А., Молчанов В.В., Семёнов В.А. Основы техники релейной защиты. Энергоатомиздат, 1984.
- 4) Гераськин Н.А. Разработка и описание алгоритмов мониторинга и оперативного оповещения о тепловом состоянии трансформаторов и работе охладителей // Современная техника и технологии. 2017. № 5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://technology.snauka.ru/2017/05/13390> (дата обращения: 28.05.2017).
- 5) ГОСТ 11677—85. Трансформаторы (и автотрансформаторы) силовые. Общие технические требования трансформаторах [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/17/17224/index.php.
- 6) ГОСТ 14209-85 Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/gost-14209-85>.
- 7) ГОСТ 14209-97 Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/9/9244/.
- 8) Гост 19.701-90 ЕСПД Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.pntd.ru/19.701.htm>
- 9) ГОСТ 3484.2-88 Трансформаторы силовые. Испытания на нагрев [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://stroysvoimirukami.ru/gost-34842-88/>.
- 10) ГОСТ 4.316-85 СПКП. Трансформаторы силовые нулевого габарита измерительные. Подстанции комплектные трансформаторные. Вводы

высоковольтные. Номенклатура показателей [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/1200010411>.

11) Дополнительные возможности систем оперативного мониторинга технического состояния гидроагрегата / Н.А. Иванов, Т.М. Юсупов, М.Г. Тягунов. – Гидротехническое строительство. – 2015. - №7. – С. 46-50

12) ИНСТРУКЦИЯ по эксплуатации системы теплового контроля гидроагрегатов Саяно-Шушенской ГЭС.

13) ИНСТРУКЦИЯ по эксплуатации трансформаторов ОРЦ–533000/500 – У1 Т1÷Т5.

14) Нагрев и охлаждение трансформаторов / Л. Киш, перевод с венгерского М.А. Бики. – Москва «Энергия» 1980

15) Охлаждающие устройства масляных трансформаторов / А.М. Голунов. – М.: Издательство «Энергия», 1964. - 152 с.

16) Охлаждающие устройства масляных трансформаторов / Голунов Алексей Михайлович, 1964

17) Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/2/2785/.

18) Прототипная экспертная система диагностики технического состояния оборудования электростанций / Соболенко Н.А., Тягунов М.Г., Хоанг К.Т.Д., Шкурин А.Н.// Гидротехническое строительство. 1995.

19) ПУЭ «Правила устройства электроустановок. Издание 7» [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/7/7177/.

20) СТО 56947007-29.180.01.048-2010. Инструкция по эксплуатации трансформаторов. – ОАО «ФСК ЕЭС» 2010. [Электронный ресурс]. – <http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.180.01.048-2010.pdf>.

21) ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С УНИФИЦИРОВАННЫМ ВЫХОДНЫМ СИГНАЛОМ ТСМУ 0104, ТСПУ 0104 Руководство по

эксплуатации / НКГЖ.411521.001РЭ.

22) ТЗ Система мониторинга и диагностики трансформаторного оборудования СУМТО ОРЦ-533000/500 (16 шт.) для Филиала ОАО «РусГидро» - «Саяно-Шушенская ГЭС им. П.С.Непорожного».

23) Техническое задание Система управления и мониторинга трансформаторным оборудованием для СШГЭС_ред 4_23.03.11

24) Ткаченко М. Г. Применение искусственной нейронной сети, оптимизированной генетическим алгоритмом, в задаче анализа состояния технологического оборудования нефтегазодобывающей промышленности // Известия Южного федерального университета. Технические науки . Выпуск № 7 (156), 2014

25) Электрические сети. Система охлаждения типа Ц для силовых трансформаторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://leg.co.ua/info/spravka/sistema-ohlazhdeniya-tipa-dc-dlya-silovyh-transformatorov.html>

26) Электрические сети. Система охлаждения типа Ц на силовых трансформаторах [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://leg.co.ua/info/spravka/sistema-ohlazhdeniya-tipa-c-na-silovyh-transformatorah.html>

27) Электрические сети. Система охлаждения трансформаторов М [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://leg.co.ua/info/transformatory/sistema-ohlazhdeniya-transformatorov-m.html>

28) Энергетика. Оборудование и документация. Тепловой расчет системы водо-масляного охлаждения трансформаторов - Охлаждающие устройства масляных трансформаторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://forca.ru/knigi/arhivy/ohlazhdayuschie-ustroystva-maslyanyh-transformatorov-19.html>.

29) Энергетика. Радиаторы трансформаторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://forca.ru/spravka/spravka/radiatory-transformatorov.html>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А Основные сборочные единицы трансформатора

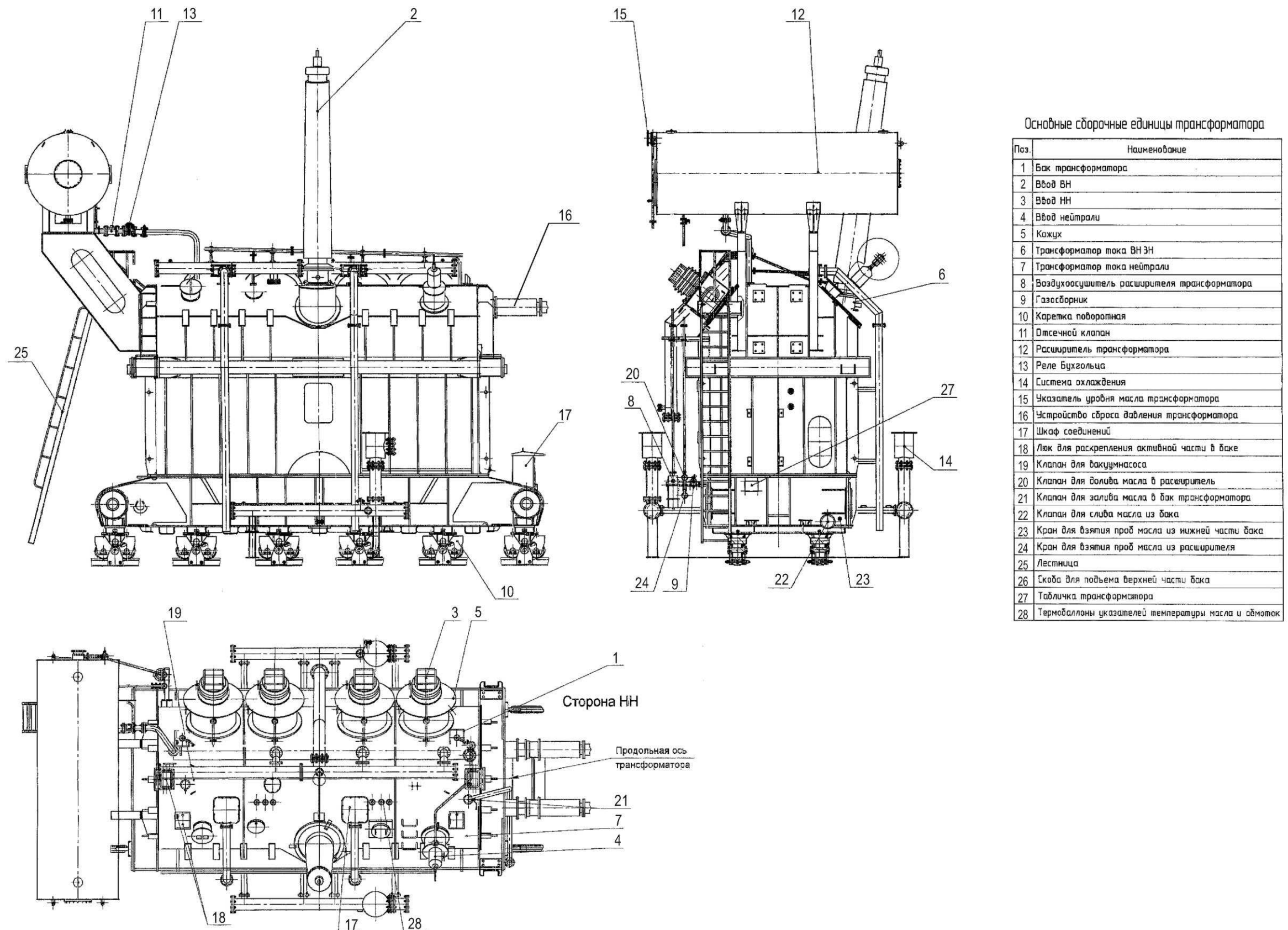
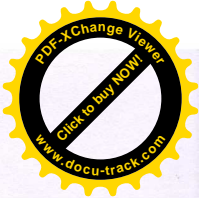
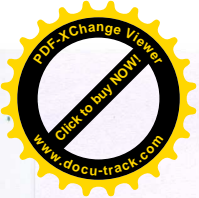


Рисунок А.1 – Основные сборочные единицы трансформатора



Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский федеральный университет»
Саяно – Шушенский филиал

Кафедра «Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических
систем и электрических сетей»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 В.В. Татарников

подпись

инициалы, фамилия

« 22 » 06 2017 г.

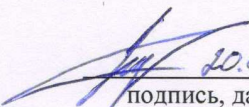
МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**РАЗРАБОТКА И ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМОВ МОНИТОРИНГА И
ОПЕРАТИВНОГО ОПОВЕЩЕНИЯ О ТЕПЛОМ СОСТОЯНИИ
ТРАНСФОРМАТОРОВ И РАБОТЕ ОХЛАДИТЕЛЕЙ**

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 Гидроэлектростанции


Научный
руководитель

 20.06.17
подпись, дата

Ведущий инженер по наладке
и испытаниям Филиала ПАО
«РусГидро» — «Саяно-
Шушенская ГЭС
имени П.С. Непорожного»
должность, учёная степень


А.Е. Безрубенко
инициалы, фамилия

Выпускник

 20.06.17
подпись, дата

Н.А. Гераськин
инициалы, фамилия

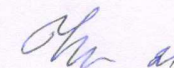
Рецензент

 20.06.17
подпись, дата

инженер Службы мониторинга
оборудования Филиала ПАО
«РусГидро» — «Саяно-
Шушенская ГЭС
имени П.С. Непорожного»
должность, учёная степень

Н.А. Иванов
инициалы, фамилия

Нормоконтролёр

 21.06.17
подпись, дата

А.А. Чабанова
инициалы, фамилия

Саяногорск; Черёмушки 2017